

**KONTINUIERLICHE ÜBERWACHUNG DER BLUTGASE IN
DER KINDERANÄSTHESIE UND KINDERBRONCHOLOGIE
MIT HAUTELEKTRODEN**

MICHAELA MEISWINKEL

1986



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554825_0066

Aus der Anästhesieabteilung
(Leiter: Prof. Dr. K. Mantel)
der Kinderchirurgischen Klinik
im Dr. von Haunerschen Kinderspital
der Universität München
(Direktor: Prof. Dr. W. Ch. Hecker)

KONTINUIERLICHE ÜBERWACHUNG DER BLUTGASE IN DER
KINDERANÄSTHESIE UND KINDERBRONCHOLOGIE MIT
HAUTELEKTRODEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
MICHAELA MEISWINKEL
aus Düsseldorf

München 1986

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter : Prof. Dr. K. Mantel
Mitberichterstatter : Prof. Dr. W. Ch. Hecker
Dekan : Prof. Dr. W. Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 6. 5. 1985

Inhaltsverzeichnis

VORWORT

INHALT

1. Die Bedeutung der Eltern

1.1 Die Elternrolle

1.2 Die Elternrolle

1.3 Die Elternrolle: Bedeutung der Elternrolle für die Kindheit

1.4 Die Elternrolle

Meinen Eltern

1.5 Die Elternrolle

1.6 Die Elternrolle: Bedeutung der Elternrolle für die Kindheit

1.7 Die Elternrolle

1.8 Die Elternrolle

1.9 Die Elternrolle: Bedeutung der Elternrolle für die Kindheit

1.10 Die Elternrolle

2. Die Bedeutung der Elternrolle: Bedeutung der Elternrolle für die Kindheit

2.1 Die Elternrolle: Bedeutung der Elternrolle für die Kindheit

2.2 Die Elternrolle

2.3 Die Elternrolle

2.4 Die Elternrolle: Bedeutung der Elternrolle für die Kindheit

2.5 Die Elternrolle

2.6 Die Elternrolle

2.7 Die Elternrolle: Bedeutung der Elternrolle für die Kindheit

Inhaltsverzeichnis

Seite

A.	EINLEITUNG	1
B.	METHODE	4
1.	P O ₂ - und P CO ₂ -Hautelektroden	4
1.1.	CO ₂ -Hautelektrode	4
1.2.	O ₂ -Hautelektrode	5
1.3.	Schematischer Aufbau am Beispiel des CO ₂ -Sensors	5
1.4.	Hautfaktoren	6
1.4.1.	Hautdicke	6
1.4.2.	Vaskularisation der Haut	6
1.4.3.	Temperatur	7
1.5.	Eichung	9
1.5.1.	Eichung des CO ₂ -Sensors	9
1.5.2.	Eichung des O ₂ -Sensors	10
2.	Einsatz der transcutanen MeBelektroden in der Anästhesieroutine	11
2.1.	Meßwertaufnahme und Registrierung	11
2.2.	Narkoseverfahren	13
2.2.1.	Prämedikation	13
2.2.2.	Inhalationsnarkose	14
2.2.3.	Neuroleptnarkose	14
2.2.4.	Relaxation	14
2.3.	Intraoperative Überwachung	15

	Seite
2.4.	Intubation 17
2.4.1.	Instrumentarium 17
2.4.2.	Technik der Intubation 18
2.5.	Narkoseatmung, Narkosebeatmung 19
2.5.1.	Maskennarkose 19
2.5.2.	Assistierte Beatmung 19
2.5.3.	Maschinelle Beatmung 20
2.5.4.	Injektorbeatmung 20
3.	Patienten 21
C.	ERGEBNISSE 24
1.	Vergleich der transcutan bestimmten Werte zu den arteriell gemessenen Werten 24
2.	Kontinuierliche Registrierung der transcutanen Blutgase bei Narkosen 31
2.1.	Narkoseeinleitung 31
2.2.	Spontanatmung, Handatmung 33
2.3.	Maschinelle Beatmung 36
2.4.	Sonderfälle 38
2.4.1.	Schock 38
2.4.2.	Bronchoskopie 42
2.4.3.	Maskennarkose 46
2.4.4.	Laryngospasmus 48
2.4.5.	Mechanische Beeinflussung der Thorax- exkursion 49
2.4.6.	Akzidentelle Extubation 50

	Seite
D.	DISKUSSION
	52
1.	Korrelation und Beeinflussung der trans-
	cutanen und arteriellen P O ₂ und P CO ₂ -Werte
	53
1.1.	P O ₂
	53
1.2.	P CO ₂
	56
2.	Bedeutung des transcutanen P O ₂ /P CO ₂ -
	Meßgerätes. in der Anästhesieroutine
	57
3.	Bedeutung der transcutanen MeBelektroden
	bei Sonderfällen
	61
E.	ZUSAMMENFASSUNG
	64
F.	LITERATUR
	65

LEGENDE

A	assistierte Beatmung
AMV	Atemminutenvolumen
B	Beatmung
E	Extubation
H	Hyperventilation
I	Intubation
M	Maschinelle Beatmung
S	Spontanatmung
l/min	Papiervorschub von 1 cm in einer Minute
Pa O ₂	arterielle Sauerstoffspannung
Pa CO ₂	arterielle Kohlendioxidspannung
tcP O ₂	transcutaner Meßwert für die Sauerstoffspannung
tcP CO ₂	transcutaner Meßwert für die Kohlendioxidspannung

A. EINLEITUNG

Die Überwachung von Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdruck ist bei Risikofrüh- und Risikoneugeborenen aufgrund der großen Schwankungen, denen diese Blutparameter unterliegen können, unbedingt erforderlich, sobald diesen Patienten Sauerstoff zugeführt wird oder man sie maschinell beatmen muß.

Ein zu niedriger $P_a O_2$ (arterielle Sauerstoffspannung) kann zu hypoxischen Schäden an Gehirn, Herz, Leber und Niere führen (Eder, M., Gedigk, P., 1977), zu reichliches Sauerstoffangebot kann irreparable Residuen am Auge, in Form einer retrolentalen Fibroplasie bedingen (Patz, A., 1969), sowie toxische Lungenschäden verursachen (z.B. bronchopulmonale Dysplasie) (Erny, P., 1981; Fischer, K.-H., 1975; Klaus, M., Meyer, B.P., 1966; Robertson, 1968).

Es wäre nicht ausreichend, sich am Sauerstoffpartialdruck als einzigem Parameter für die Ventilation der Patienten zu orientieren, die Überwachung des CO_2 -Partialdrucks im Blut ($P_a CO_2$) ist von ähnlicher Bedeutung, da er ein direktes Maß für die alveoläre Ventilation darstellt (Versmold, H.T., Severinghaus, J.W., 1982) und eine Hyperkapnie Einfluß auf cerebrale und pulmonale hämodynamische Zustände zeigt (Erny, P. et al., 1981).

Auch bei der Indikationsstellung zur maschinellen Ventilation sowie zur Überprüfung ihrer Effizienz ist eine ständige Blutgaskontrolle erforderlich.

Die Überwachung der Blutgase erfolgt entweder aus arterielle Blut, welches aus Nabelarterienkathetern oder aus kanülierte Arterien gewonnen wird, sowie aus venös oder kapillär entnommenem Blut. Da die Pa O_2 -Bestimmung aus kapillärem Blut kein zuverlässigen Aussagen über eine Sauerstofftherapie liefern konnte (Duc, G.V., Cumarasamy, N., 1974), blieb man bisher auf die, nicht ganz ungefährliche, invasive arterielle Blutgasgewinnung angewiesen (Tooley, W.H., 1972), die allerdings ebenfalls nur punktuelle Werte liefern kann. Mit der Entwicklung der transcutanen O_2 - und CO_2 -Partialdruckmessung steht nun seit einiger Zeit eine Möglichkeit der indirekten, nichtinvasiven und kontinuierlichen Bestimmung der Blutgase zur Verfügung, die bereits ihren Einzug als Standardausrüstung in pädiatrischen, speziell neonatologischen Intensiv-einheiten gehalten hat.

Als erster beschrieb Gerlach 1851 den Austausch O_2 und CO_2 zwischen Haut und umgebender Luft (Gerlach, 1851; Lübbbers, D.W., 1981; Eberhard, P., 1977; Eberhard, P., 1981). 1929 wurde von Shaw et al. der Einfluß der Umgebungstemperatur auf die Hautatmung demonstriert (Eberhard, P., 1981). Genau 100 Jahre nach Gerlach zeigten Baumberger und Goodfriend, daß eine Equilibrierung des arteriellen Pa O_2 eines, in eine erwärmte Elektrolytlösung getauchten Fingers, mit dem P O_2 des Umgebungsmediums erfolgte. Dies wurde von Rooth et al. 1957 bestätigt.

Ungefähr zur gleichen Zeit begann Clark seine transcutane O_2 -Elektrode zu entwickeln (Clark, L.C., 1954). Evans und Naylor (1967) waren die ersten, die den direkten Kontakt zwischen Sauerstoffelektrode und Haut beschrieben.

Schon bald stellte man fest, daß eine Hyperämie der Haut zu besseren Resultaten in der Korrelation zwischen Pa O_2 und tcP O_2 führte; man versuchte dies u.a. durch Saugblasen, Ablösen des Stratum corneum mit Heftpflaster oder Applikation von Nikotinamidderivaten zu induzieren, was jedoch keine befriedigenden Resultate erbrachte. Erst das lokale Erwärmen der Haut führte hier zu besseren Ergebnissen (Baumberger, J.P., 1951, Eberhard, P., Hammacher, K., 1972, Huch, R., Huch, A., Lübbers, D.W., 1973, Rooth, G. et al., 1957).

Den Effekt, daß der arterielle Pa CO_2 dem auf erwärmter Haut gemessenen tcP CO_2 relativ nahe kommt, beobachtete Severinghaus bereits 1960, die Entwicklung einer entsprechenden Elektrode erfolgte erst, nachdem sich ein gewisser Erfolg bei der transcutanen P O_2 -Messung abzeichnete.

Mittlerweile ist auch die transcutane P CO_2 -Messung zu einem probaten Mittel in der Kinderintensivpflege geworden, um die arterielle Kohlendioxidspannung zu bestimmen.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit soll die Beantwortung der Frage sein, ob der Einsatz des transcutanen Meßgerätes in der Kinderanästhesie zur routinemäßigen Überwachung der Blutgase zu befürworten ist und inwieweit sie zur Patientensicherheit beitragen kann. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Korrelation zwischen transcutanen und arteriellen Werten, der Stabilisierungszeit der Elektroden, dem Einsatz in routinemäßig durchgeführten Anästhesien, bei Bronchoskopien sowie bei Notfallsituationen (Schock, Extubation, Laryngospasmus) gelegt.

B. METHODE

1. P O₂- und P CO₂-Hautelektroden

1.1. CO₂-Hautelektrode

Der Aufbau des für unsere Versuchsreihe verwendeten CO₂-Sensors beruht auf dem von Stow-Severinghaus entwickelten Konzept (Stow et al., 1957, Severinghaus, 1958).

Eine hydrophobe Membran aus Silastic oder Teflon, welche für CO₂, nicht aber für andere Ionen permeabel ist, trennt die zu bestimmende Probe von einer Bicarbonatlösung.

Nach der Gleichung:



entsteht Kohlensäure (H₂CO₃), welche als schwache Säure sofort wieder in ein Wasserstoffion (H⁺) und Bicarbonat (HCO₃⁻) zerfällt.

Die freiwerdenden H⁺-Ionen führen zu pH-Schwankungen, die mit einer pH-sensitiven Glaselektrode gegen eine Ag/AgCl-Referenzelektrode gemessen werden können.

Da die von den H⁺-Ionen erzeugten Potentialschwankungen konzentrationsabhängig sind, besteht die Möglichkeit, mittels der Potentialmessung Konzentrationen zu bestimmen. Das von einem Voltmeter gemessene Potential ist proportional zum pH-Wert und steht damit auch in proportionaler Beziehung zum Logarithmus des CO₂-Partialdrucks.

1.2. O₂-Hautelektrode

Bei der Messung des Sauerstoffpartialdrucks wurde der Clark'sche Sauerstoffsensor verwendet.

Ähnlich wie die CO₂-Messung wird hier eine quantitative Bestimmung des O₂-Gehaltes im Blut durch die Messung von konzentrationsabhängigen Potentialschwankungen möglich, wobei als Grundlage die folgenden Gleichungen dienen:



Die resultierende Reduktion ist proportional der Anzahl an Sauerstoffatome.

Der Sauerstoff diffundiert aus dem arterialisierten Kapillarbett durch Dermis und Epidermis an die Hautoberfläche und wird dort an der Kathode reduziert.

In der vorliegenden Versuchsreihe wurde ein Sensor mit einer Goldkathode und einer Silberanode verwendet, welche mittels einer dünnen Elektrolytschicht (- elektrische Leitung) verbunden sind.

1.3. Schematischer Aufbau am Beispiel des CO₂-Sensors

Der Sensor besteht aus einer pH-sensitiven Glaselektrode, die in eine AgCl-Referenzelektrode eingebettet ist. Eine Teflonmembran trennt die HCO₃⁻-Lösung von der Haut.

Die für die Arterialisierung der Kapillaren notwendige Erwärmung der Haut wird von Thermistoren geregelt, die unmittelbar der Referenzelektrode anliegen.

Durch Transformation der hochohmigen Ausgangsspannung in ein niederohmiges Signal soll eine erhöhte Sicherheit gegen Störungen, induziert durch Kabelbewegungen, gewährleistet werden.

Zur Befestigung auf der Haut dient ein selbsthaftender Klebering.

1.4. Hautfaktoren

1.4.1. Hautdicke

Die Gesamtdicke der Haut, die für die Diffusionsstrecke der Gase bis zum Sensor ausschlaggebend ist, schließt das Stratum corneum (10-20 μm), das an Hand- und Fußballen wesentlich stärker ist mit ein. Hand- und Fußballen sind somit für eine Applikation der Elektroden nicht geeignet. Die Hautdicke variiert nach Southwood während des Lebens beträchtlich. Beim Säugling und Kleinkind findet man eine relativ dünne Haut, die von der Pubertät bis zum 50.-60. Lebensjahr dicker wird, während sie danach an Dicke wieder abnimmt (Southwood, 1956).

1.4.2. Vaskularisation der Haut

Einen weiteren Einfluß auf die transcutane Messung übt die Vaskularisierung der einzelnen Hautpartien aus.

Man unterscheidet 2 arterielle Gefäßtypen, welche die Blutversorgung der Haut vornehmen:

- die musculocutanen Arterien, welche den dominanten Anteil der Blutversorgung bestreiten, sowie
- die direkten Hautgefäße.

Die Verteilung der Gefäße variiert bei den einzelnen Körperregionen; am Thorax, an den Extremitäten, sowie an Kopf und Hals erscheint sie am ausgeprägtesten.

Die tieferen Anteile der Dermis weisen verstärkt kapilläres Netzwerk auf. Dieses speist die arteriellen und venösen Gefäße, die relativ dünnwandig sind und sich dadurch zum Gasaustausch eignen, in den oberen Anteilen der Dermis.

Beim Neugeborenen und Kleinkind findet man das kapilläre Netzwerk in extremer Ausprägung, während beim Erwachsenen die Anzahl der Kapillaren deutlich geringer, wahrscheinlich bedingt durch Änderung im Gewebs- und Kollagenaufbau, ist.

1.4.3. Temperatur

Die Abhängigkeit der aktiven, dermalen Vasodilatation von der Umgebungstemperatur ist ein allgemein bekanntes Phänomen, welches schon von verschiedenen Autoren (Greenfield 1963, Malkinson 1964, Gruyton 1968, Fox 1974, Montagna und Parakkal 1974) beschrieben worden ist, wobei das Ausmaß der Vasodilatation und der musculocutane Blutdurchfluß zueinander im proportionalen Verhältnis stehen. Neben der mittels Hyperthermie herbeigeführten Vasodilatation gilt es auch noch die vasodilatativen Stoffe, wie Norepinephrin, Epinephrin, Nicotinsäurederivate sowie Bradykinin zu berücksichtigen, die in den

Anfängen der transcutanen Messung häufig verwendet wurden. Die maximale Perfusion ist nach Hertzmann (Hertzmann, 1961) bei einer Temperatur von 45°Celsius erreicht, weitere Erhöhung der Temperatur bringt keine Steigerung des Blutdurchflusses mehr. Bei Sensortemperaturen von 41-44°Celsius ist eine signifikante Korrelation zwischen cutanen und arteriellen CO_2 - und O_2 -Werten zu verzeichnen (Hertzmann, 1961).

Eine ausreichende Arterilisation der Hautgefäße ist für die Zuverlässigkeit der transcutanen Messung unerlässlich; aus diesem Grunde ist das vom Sensor erreichte Temperaturprofil im Gewebe ein äußerst relevanter Faktor für das Maß der Korrelation.

Um systematische Meßfehler zu vermeiden, sollte die Temperatur an Kathode und Anode während der Messung möglichst konstant gehalten werden.

Zusammenfassend führt die Erwärmung der Haut zu:

- einer Änderung im Stratum corneum, welche zu einer schnelleren Diffusion des O_2 führt;
- einer Arterilisation der Hautkapillaren, die auch gegen Schwankungen des Herzauswurfes relativ unempfindlich ist;
- einer Steigerung der Sauerstoffspannung, bedingt durch eine Verschiebung der Oxyhämoglobin-Dissoziationskurve.

1.5. Eichung

1.5.1. Eichung des CO₂-Sensors

Der CO₂-Sensor sollte vor jeder Messung geeicht werden. Es wird eine Zweipunkteichung durchgeführt. Zu diesem Zwecke wird der CO₂-Sensor auf seine Betriebstemperatur erwärmt und nacheinander in der Eichkammer den 2 Gasen verschiedener, bekannter CO₂-Konzentration ausgesetzt. Die Gase sind mit Wasserdampf gesättigt.

Aus folgender Gleichung können die Eichwerte abgeleitet werden:

$$P_{CO_2} = c (P_B - P_{H_2O})$$

P_{CO_2} = Partialdruck des CO₂ (mm Hg oder kPa)

P_B = Barometerdruck

p_{H_2O} = Sättigungspartialdruck von Wasserdampf
für die jeweilige Raumtemperatur

c = Kohlendioxidanteil des Eichgases

Um eine möglichst genaue Korrelation zwischen dem arteriellen und transcutanen Meßwert zu erzielen, müssen noch verschiedene Korrekturfaktoren Berücksichtigung finden.

1.5.2. Eichung des O_2 -Sensors

Es genügt bei der Eichung des O_2 -Sensors, diesen einmal täglich auf den herrschenden Barometerdruck einzueichen. Ähnlich wie der CO_2 -Sensor wird der O_2 -Sensor auf Betriebstemperatur erwärmt und der Raumluft ausgesetzt. Aus einem Eichdiagramm wird der dem Barometerdruck zugehörige $P O_2$ ermittelt und der Sensor an diesen Wert adaptiert.

Als Wert für die Praxis hat sich ein Wert um 153 mm Hg bewährt.

2. Einsatz der transcutanen MeBelektroden in der Anästhesieroutine

2.1. Meßwertaufnahme und Registrierung

Zur transcutanen Messung von CO_2 und O_2 wurden der P CO_2 Monitor Module 634 sowie der P O_2 Monitor Module 632 der Firma Hoffman la Roche verwendet.

Zur Kalibration der CO_2 -Elektrode, die zu jedem Einsatz neu geeicht wurde, verwendeten wir die Kalibrationseinheiten 340 und 344. Die morgendliche Eichung der O_2 - bzw. CO_2 -Elektrode nahmen unter Berücksichtigung der Stabilisierungszeit (Dauer bis zum Erreichen der Betriebstemperatur) einen Zeitraum von durchschnittlich 10-15 min in Anspruch, wobei die Zeitnahme mittels einer Stoppuhr erfolgte.

Die jeweilige Überprüfung des CO_2 -Sensors vor einem erneuten Einsatz, wobei nur mit dem Eichgas I eine erneute Kalibration erfolgen mußte, dauerte im Schnitt 4-5 min.

Zur Applikation der Elektrode wurde die Haut der Patienten mit Alkohol gesäubert, um eventuell verbliebene Schmutzreste und Fett zu entfernen. Danach wurde die Sensoroberfläche, wie vom Hersteller empfohlen, mit etwas Kontaktgel versehen und mittels eines Kleberinges auf der Haut fixiert.

Die Elektroden wurden in der Mehrzahl der Fälle am linken oberen Thorax, etwas unterhalb der Clavicula, in der Gegend der Aortenwurzel fixiert. Bei der Wahl der Position galten als Kriterien:

- möglichst gute Kapillarisation (Ryan, T.J., 1973)
- möglichst große Entfernung vom OP-Gebiet, um störende Interferenzen mit dem Elektroauter zu vermeiden,
- intraoperative Zugangsmöglichkeiten für den Anästhesisten (z.B. Positionswechsel).

In Fällen, in denen eine Applikation der Elektroden, operationstechnisch bedingt, nicht an der linken Thoraxwand möglich war, wurden die Elektroden teils am Sternum, in der Axillargegend, am Hals, in seltenen Fällen (plastische Chirurgie) auch an den Extremitäten angebracht.

Mit Ausnahme eines 4 Wochen alten Säuglings, bei dem die Elektrode am Hals fixiert wurde und dort eine starke Hyperämie (Dauer ungefähr 2 Tage postoperativ) hervorrief, wurden bei keinem Patienten Verbrennungserscheinungen registriert.

Die zur Messung verwendeten Sensortemperaturen lagen für den $P O_2$ bei $44^\circ C$ und für den $P CO_2$ bei $43^\circ C$.

Blutentnahmen erfolgten in 72 Fällen arteriell, wobei die A. radialis punktiert wurde, die Proben in heparinisierten Glaskapillaren entnommen und mittels eines AVL-Gaschecks analysiert wurden.

In 4 Fällen wurde ein kapillärer, in 2 Fällen ein venöser Gascheck entnommen, da sich eine arterielle Blutentnahme als unmöglich erwies. Die Zeitspanne zwischen Blutentnahme und Analyse der Probe betrug im Mittel 5 Minuten. Zur Gascheckentnahme wurde eine Stabilisationszeit der Elektroden von mindestens 10 bis 15 Minuten abgewartet, um eine ausreichende Arterialisierung des entsprechenden Hautbezirkes zu erreichen.

Bei einer Operationsdauer von mehr als zweieinhalb Stunden Dauer wurden soweit als möglich die Blutgase 2x überprüft (insgesamt in 9 Fällen).

In 6 Fällen erfolgte keine Blutgasentnahme aufgrund technischer Schwierigkeiten.

Ein Fall erforderte den Abbruch der transcutanen Messung, da sich die Elektroden bei der Reanimation als störend erwiesen und somit ein Entfernen der Elektroden indiziert war.

2.2. Narkoseverfahren

2.2.1. Prämedikation

Jedem Kind wurde zur Prämedikation eine Dosis Atropin von 0,02 mg/kg KGW i.m. oder i.v. appliziert.

Als wünschenswerter Nebeneffekt tritt eine Vasodilatation der Hautgefäße auf, welches sich positiv auf die transcutane Messung auswirkt. Kinder in einem zufriedenstellenden Allgemeinzustand, mit Ausnahme von Säuglingen unter 5 kg, Kindern mit Meningomyelocele und Hydrocephalus, erhielten zur Sedierung Thalamonal® in folgender Dosierung:

10 - 15 kg KGW	0,6 ml i.m.
15 - 20 kg KGW	0,8 ml i.m.
> 20 kg KGW	1,0 ml i.m.

2.2.2. Inhalationsnarkose

Die Inhalationsnarkose mit einem Halothan-Lachgas-Sauerstoffgemisch ist das Standardverfahren in der Kinderanästhesie und wird üblicherweise bei kurzen Eingriffen durchgeführt.

2.2.3. Neuroleptnarkose

Die Neuroleptnarkose mit DHB (Dehydrobenzoperidol) und Fentanyl ist ein intravenöses Narkoseverfahren, das vorwiegend zu längeren Narkosen eingesetzt wird und postoperativ durch seine überhängende Wirkung zu einer Verlängerung der Analgesie beiträgt.

Eine Modifikation des 1959 von de Carto beschriebenen Verfahrens der Neuroleptanalgesie besteht in der Kombination von Fentanyl und DHB mit Inhalationsnarkotika. Bei unseren Messungen fand Lachgas Verwendung.

2.2.4. Relaxation

Die Relaxation erfolgte mit Lysthenon® (Succinylcholin), welches vor allem für kurze Eingriffe geeignet ist, da es von allen Muskelrelaxantien die kürzeste Halbwertszeit hat und sehr schnell von der im Serum vorkommenden unspezifischen Cholinesterase gespalten wird.

Dosierung: 1 - 1,5 mg/kg KG i.v.
Repetitionsdosis: 1 mg

Desweiteren wurde Pancuronium verwendet, welches ein äußerst potentes, nicht depolarisierendes Muskelrelaxans darstellt, das vorwiegend Einsatz bei längeren Eingriffen findet.

Dosierung: 0,1 - 0,15 mg/kg KG i.v.

2.3. Intraoperative Überwachung

Die routinemäßige intraoperative Überwachung der Kinder wurde folgendermaßen durchgeführt:

- Permanente Überwachung der atemsynchronen Thoraxexkursionen, um eine Normoventilation der Patienten zu sichern.
- EKG-Monitor: Das opto-akustische Signal ist für jeden Anästhesisten unerlässlich, erfordert aber dennoch die Auskultation der Herztöne mittels eines
- praecordialen Stethoskopes.
- Blutdruckmessung
Die Blutdruckmessung wurde bei den Säuglingen mittels einer Arteriosonde (Fa. Roche), eines nach dem Dopplerprinzip arbeitenden Gerätes durchgeführt.
Bei den älteren Kindern wurde der Blutdruck auskultatorisch mittels einer Blutdruckmanschette und eines Stethoskopes, welches über der Arteria brachialis fixiert wurde, gemessen.

- Blutgasbestimmung

Routinemäßig erfolgte bei allen Operationen (mit Ausnahme von 6 Fällen, bei denen technische Mängel an den Blutgasanalysatoren vorlagen) eine Blutgasentnahme zur Kontrolle der ausreichenden Ventilation des jeweiligen Patienten, sowie um die Meßwerte der transcutanen Elektrode zu überprüfen.

- Messung des zentralen Venendruckes

Der ZVD wurde nicht routinemäßig zu jeder Operation bestimmt, sondern fand vorwiegend Einsatz bei Operationen, bei denen größere Blutverluste zu erwarten waren. Der ZVD wurde über einen zentralen Zugang bestimmt, der entweder in der V. jugularis oder in der Vena subclavia lag.

- Überwachung der Urinausscheidung

Bei Patienten, bei denen aufgrund der Länge bzw. Art der Operation ein Sistieren bzw. eine Einschränkung der Nierenfunktion zu erwarten war, wurde die Urinausscheidung kontrolliert.

- Temperaturmessung

Diese erfolgte vorwiegend bei Säuglingen mittels einer rektal eingeführten Sonde.

2.4. Intubation

2.4.1. Instrumentarium

- Laryngoskop

Verwendet zur Intubation wurden der Mac-Intosh-Spatel bzw. der Foreggerspatel, die sich im wesentlichen durch die Form des Spatels unterscheiden; der erste ist gebogen, der zweite gerade.

Dadurch ändert sich auch die Technik der Intubation. Während durch das gerade Laryngoskop die Epiglottis direkt angehoben wird, wird bei dem gebogenen Laryngoskop das gebogene Ende in die glossoepiglottische Falte eingebracht und durch den Zug nach oben, sowie Druck auf das Zungenbein die Epiglottis aufgerichtet und der Eingang der Trachea sichtbar (Dudsiak, 1980; Steward, 1985).

- Trachealtuben

Trachealtuben werden zum Zweck der naso- bzw. oro-trachealen Intubation in verschiedenen Größen und Längen aus Gummi oder Kunststoff hergestellt.

In Abhängigkeit vom Alter des Patienten werden für die Intubation Tuben mit verschiedenen Durchmessern benutzt.

2.4.2. Technik der Intubation

- Orotracheal

Dem eigentlichen Intubationsvorgang geht die Relaxation des Patienten voraus, sowie die Maskenhyperventilation. Der Patient wird leicht überstreckt gelagert (Jackson-Position) und unter Zuhilfenahme des Laryngoskops intubiert. Die anschließende Auskultation gilt der Lageüberprüfung des Tubus.

- Nasotracheal

Die nasotracheale Intubation findet Anwendung, wenn Operationen im Mund-Rachenraum stattfinden bzw. wenn mit einer Langzeitintubation zu rechnen ist.

Zusätzlich zum Laryngoskop wird eine Magillzange benötigt, mit der der Tubus weiter in die Trachea vorgeschoben wird.

2.5. Narkoseatmung, Narkosebeatmung

2.5.1. Maskennarkose

Die Wahl der Maske erfolgt individuell und richtet sich nach Gesichtsform und Nasengröße. Bei Kindern stehen 4 Größen zur Verfügung (0 = klein, für Neugeborene; 1 = klein, für Säuglinge; 2 = mittel und 3 = groß).

Ein Guedel-Tubus kann in den oropharyngealen Bereich eingeführt werden, um das Zurückfallen der Zunge zu verhindern, freie Luftwege zu verschaffen und damit die Durchführung der assistierten Beatmung zu erleichtern.

2.5.2. Assistierte Beatmung

Die assistierte Beatmung (die in der vorliegenden Studie 44 mal zur Anwendung kam) wird mit dem Kuhnsystem durchgeführt. Das Kuhnsystem besteht aus einem modifizierten Ayre'schen T-Stück, dem auf der einen Seite eine Maske aufgesetzt werden kann und das auf der anderen Seite durch einen Faltenschlauch mit einem Atemventil verbunden ist.

Durch Verschluß der Öffnung am Atemventil und Kompression desselbigen ist eine Durchführung von assistierter und kontrollierter Beatmung möglich. Zur Vermeidung der Entweichung von Narkosegasen versieht man den Beutel mit einem durchsichtigen Plastiküberzug, der mit einer Absaugvorrichtung und einem Filter verbunden ist.

2.5.3. Maschinelle Beatmung

Gegenüber der manuellen Beatmung des Patienten bietet die maschinelle Beatmung den Vorteil der größeren Handlungsfreiheit des Anästhesisten, sowie die Möglichkeit der gleichmäßigeren Ventilation. Eine weitere Indikation zur maschinellen Beatmung stellt eine postoperative Weiterbeatmung des Patienten dar (z.B. Herz-Operationen, Zweihöhleneingriffe, Patienten, die bereits praeoperativ beatmet worden sind).

Man unterscheidet bei den Beatmungsgeräten druck- und volumengesteuerte Geräte.

Zu den druckgesteuerten Maschinen zählt man den Sechrist, den Sulla 800 V; Servo, Babylog, Ventillog und Engström rechnet man zu den volumengesteuerten Geräten.

2.5.4. Injektorbeatmung

Die Beatmung erfolgt über eine orotracheale Injektorsonde, einem von Sanders 1967 entwickelten Prinzip, das nach Carden modifiziert wurde (Pollich, 1980; Mantel, 1976; Mantel, 1974).

Anstelle der orotrachealen Intubation wird die Injektorsonde in die Trachea eingeführt. Die Beatmung erfolgt nicht manuell, sondern die Sonde wird an einen Respirator (Injectomat 2025, der Firma R. Wolff, Knittlingen) angeschlossen, dem ein Lachgas-Sauerstoff-Mischgerät vorgeschaltet ist.

3. Patienten

Dieser Studie zugrunde liegen 75 Patienten, wovon 69 mit einer Operationsindikation vorstellig wurden, sowie 6 Patienten, die sich einer Bronchoskopie unterziehen mußten.

Die geschlechtsorientierte Aufschlüsselung ergibt ein Verhältnis von 56 männlichen zu 18 weiblichen Patienten, wobei die Altersverteilung folgendermaßen aussieht:

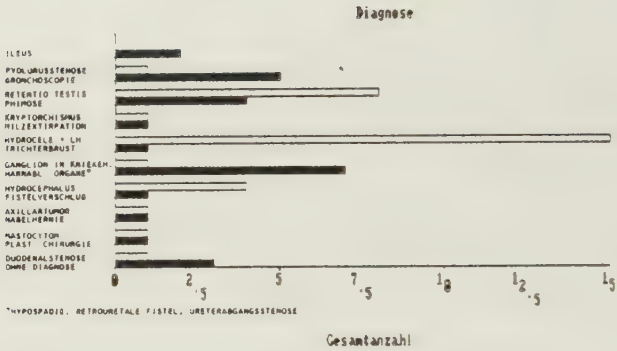


Abb. 1: Zahlenmäßige Verteilung der Krankheitsbilder bezogen auf die Gesamtzahl der vorgenommenen Messungen

Diagnose ♂	0-1	1-3	3-6	> 6	ges.
DUODENALSTENOSE	1				1
BRONCHOSCOPIE		3	1	1	5
RETENTIO TESTIS			4	4	8
PHIMOSE	1	1	1	1	4
PLAST. CHIRURGIE*	1				1
MASTOCYTOM			OHNE ALTER		1
HYDROCELE + LH	5	5	1	4	15
NABELHERNIE		1			1
AXILLARTUMOR				1	1
HARNBL. ORGANE*	3	1	1	2	7
HYDROCEPHALUS	3		1		4
FISTELVERSCHLUB			1		1
GANGLION IN Kniek.			1		1
TRICHTERBRUST				1	1
MILZEXSTIRPATION				1	1
KRYPTORCHISMUS			1		1
PYLORUSSTENOSE			OHNE ALTER		1
ILTUS	2				2
OHNE DIAGNOSE					3

* HYPOSPADIE, RETROURETRALE FISTEL,
URETERABGANGSSTENOSE

Diagnose ♀	0-1	1-3	3-6	> 6	ges.
THORACOTOMIE				1	1
LARYNGOSOPH. FISTEL	1				1
NIERENTUMOR					1
BRONCHOSCOPIE	1				1
PLAST. CHIRURGIE		1			1
GANGLION IN Kniekeh.			1		1
VENTILREVISION				1	1
ILEOSTOMARÜCKVERL.	1				1
D. BOTALLILIGATUR			1		1
HUFEISENNIERE + REFLUX	2				2
OVARIAL-TUMOR	1				1
BAUCHWANDPLASTIK		1			1
OHNE ALTERSANGABE					2

OHNE ALTERSANGABE: DIAGNOSE: VENTILREVISION
: AGS - VAGINALPLASTIK

Abb. 2: Geschlechts- und altersbezogene Verteilung der Krankheitsbilder

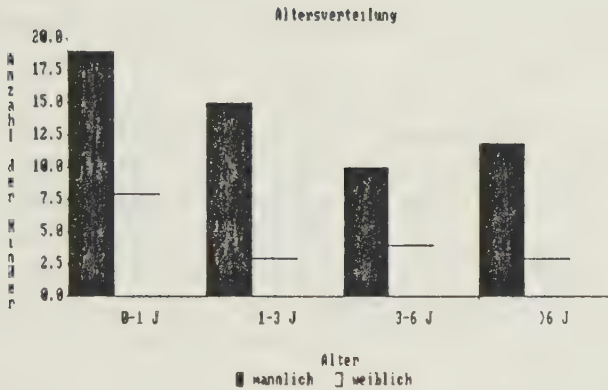


Abb. 3: Geschlechts- und altersbezogene Aufschlüsselung des Patientengutes

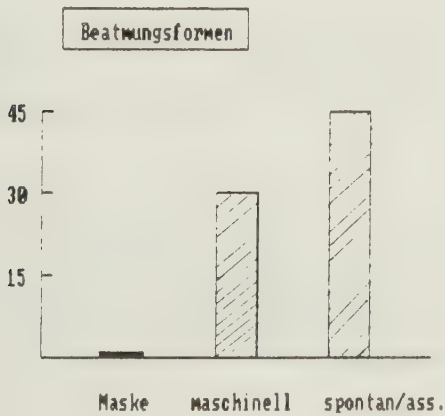


Abb. 4: Quantitative Darstellung der angewandten Beatungsformen

C. ERGEBNISSE

1. Vergleich der transcutan bestimmten Werte zu den arteriell gemessenen Werten

Um einen Vergleich der transcutanen Meßwerte mit den arteriellen Meßwerten zu ermöglichen, wurden während des operativen Eingriffes in einer die Blutgaswerte betreffenden, stabilen Phase, arterielle und kapilläre Blutgasproben entnommen. Wurden die Proben zu Beginn der Narkose abgenommen, so warteten wir mindestens eine Stabilisierungszeit des transcutanen Meßgerätes von 10-15 Minuten ab.

Von insgesamt 78 Blutabnahmen fanden nach Ausschluß technischer Mängel 75 O₂-Messungen und 70 CO₂-Messungen Eingang in die statistische Auswertung; es erfolgten insgesamt 72 arterielle, 4 kapilläre und 2 venöse Blutabnahmen. Bei 9 Kindern wurde aufgrund der längeren Narkose (Dauer > 2 h) die Blutgase 2 x kontrolliert.

Auf eine geschlechtsspezifische Aufschlüsselung wurde verzichtet, da die Anzahl der Messungen in der weiblichen Gruppe zu niedrig war und auch keinen signifikanten Unterschied erwarten ließ.

Zur Beurteilung des transcutanen Meßverfahrens in den verschiedenen Altersgruppen (0-1 J, 1-3 J, 3-6 J, > 6 J) wurde die Häufigkeitsverteilung des relativen Fehlers f zwischen den transcutanen und arteriellen O₂- und CO₂-Messungen in 4 Histogrammen aufgetragen.

Bei der Bestimmung des relativen Fehlers f wird vorausgesetzt, daß durch die arterielle Messung der tatsächliche Gasgehalt hinreichend genau bestimmt werden kann, d.h. daß der Fehler der arteriellen Messung vernachlässigbar klein ist.

Der relative Fehler berechnet sich somit zu:

$$f = \frac{\text{transcutaner Wert} - \text{arterieller Wert}}{\text{arterieller Wert}}$$

Zur Darstellung der Verteilung wurde die Gesamtheit der Messungen in 8 Fehlerklassen von je 10 % Intervallbreite unterteilt. Der dargestellte Fehlerbereich erstreckt sich von -45 % bis + 35 % relativen Fehlers.

Einige Messungen, bei denen der Fehler wesentlich außerhalb des gesamten Bereiches lag, wurden nicht in die Bewertung aufgenommen; diese Ausreißer waren offensichtlich auf einen meßtechnischen Fehler zurückzuführen.

Es wurde daraufhin die Anzahl der Messungen, die in einem Fehlerintervall lagen, bestimmt und jeweils über dem entsprechenden Intervall aufgetragen.

Die beiden letzten Histogramme zeigen nochmals sämtliche CO_2 - bzw. O_2 -Messungen zusammengefaßt. Dadurch läßt sich eine Änderung der Fehlerverteilung mit zunehmendem Alter verdeutlichen. Da die Zahl der Messungen in den einzelnen Altersgruppen unterschiedlich ist, müssen die Verteilungen der einzelnen Altersgruppen hier auf eine bestimmte Altersgruppe normiert werden.

Alle Histogramme enthalten zusätzlich die Angabe des Mittelwertes des relativen Fehlers $\bar{x}$ und die Standardabweichung σ .

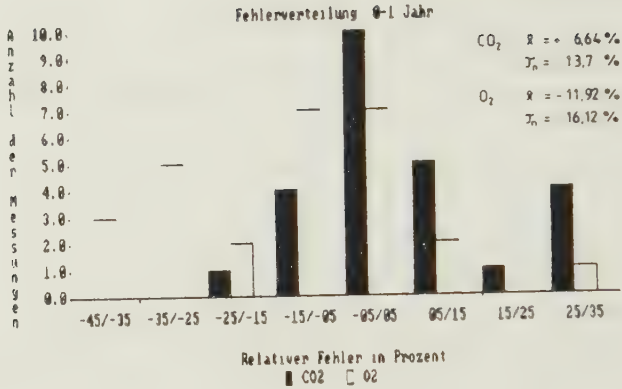


Abb. 5: Verteilung des relativen Fehlers f in der Altersgruppe 0-1 Jahr
 O₂: 27 Messungen CO₂: 25 Messungen

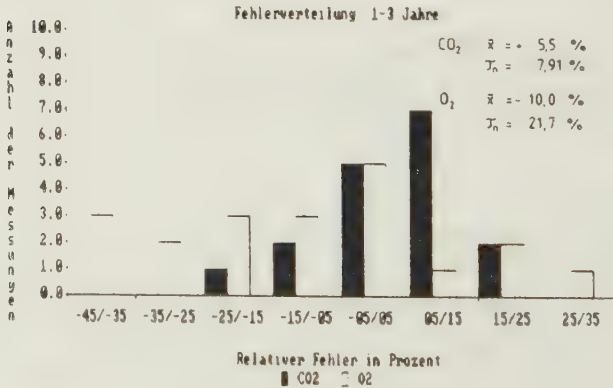


Abb. 6: Verteilung des relativen Fehlers f in der Altersgruppe 1-3 Jahre
 O₂: 20 Messungen CO₂: 17 Messungen

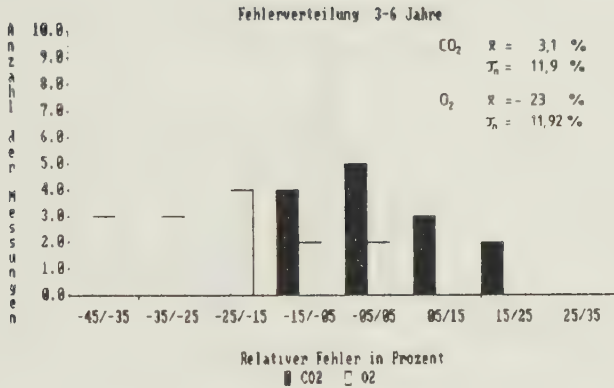


Abb. 7: Verteilung des relativen Fehlers f in der Altersgruppe 3-6 Jahre
 O₂: 14 Messungen CO₂: 15 Messungen

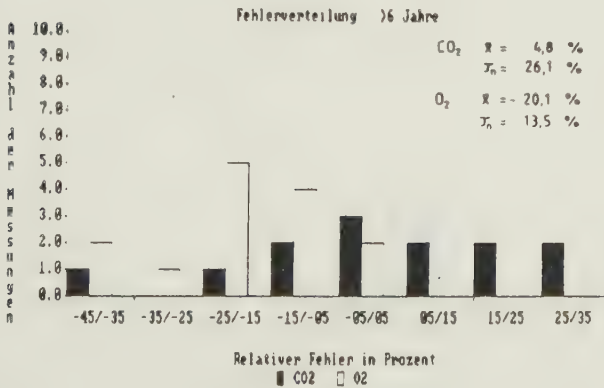


Abb. 8: Verteilung des relativen Fehlers f in der Altersgruppe > 6 Jahre
 O₂: 14 Messungen CO₂: 13 Messungen

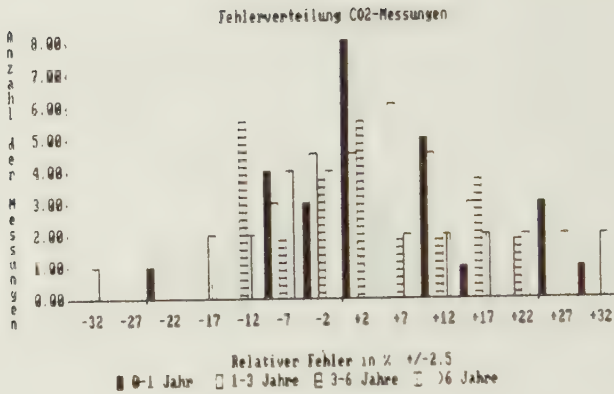


Abb. 9: Verteilung des relativen Fehlers f der CO₂-Messungen bezogen auf alle 4 Altersgruppen

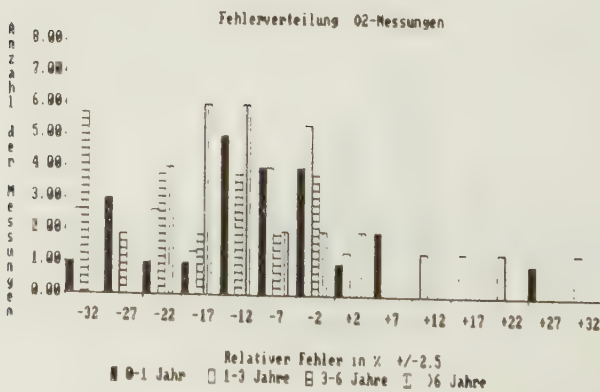


Abb. 10: Verteilung des relativen Fehlers f der O₂-Messungen bezogen auf alle 4 Altersgruppen

Die Darstellung der Verteilungsfunktion des relativen Fehlers f ermöglicht eine Beurteilung der transcutanen Blutgasmessung im Vergleich zu einer arteriellen Gaswertbestimmung.

Betrachtet man die Lage des Maximums (Mittelwert) der Funktion, so kann man auf einen eventuellen systematischen Meßfehler schließen. Ferner läßt die Breite der Funktion Rückschlüsse auf die Güte des Meßverfahrens zu.

Vergleicht man die Histogramme der verschiedenen Altersgruppen miteinander, so kann man erkennen, daß prinzipiell ein Unterschied in der CO_2 - und der O_2 -Messung besteht.

In allen Altersgruppen zeigt sich eine deutliche Verschiebung des relativen Fehlers f der O_2 -Werte in den linken Fehlerbereich ($x - 12\%$), was bedeutet, daß der transcutane Meßwert häufiger niedriger lag, als der arterielle Vergleichswert.

Der Untersuchungsablauf ließ nicht vermuten, daß hier Meßfehler vorlagen. Als wahrscheinlichster Grund für dieses Ergebnis erscheint die Beeinflußbarkeit der transcutanen O_2 -Messung durch Narkosegase.

Die CO_2 -Messung ist im Vergleich mit einem weitaus geringeren Fehler behaftet.

Der Mittelwert der CO_2 -Messungen ist bei allen Altersgruppen eher in einen positiven Bereich verschoben ($x + 5\%$), was auf einen geringeren systematischen Fehler schließen läßt.

Vergleicht man die Histogramme der 4 Altersgruppen, so stellt man fest, daß mit zunehmendem Alter die Verteilungskurven stark abflachen, d.h. die Streuung des Meßfehlers nimmt zu.

Die Streuung des Fehlers ist in den Altersgruppen 0-1 J. und 1-3 J. bei den CO_2 -Messungen geringer als bei den O_2 -Messungen.

Die Qualität der Messung nimmt also mit zunehmendem Alter ab. Als Gründe hierfür können u.a. die zunehmende Hautdicke und die abnehmende Vaskularisierung der Haut angenommen werden.

Die Abnahme der Meßqualität des Verfahrens mit zunehmendem Alter wird nochmals durch die Histogramme Nr. 9 und 10 verdeutlicht. Bei diesen Histogrammen ist die Zahl der Messungen angepaßt; d.h. man wertet für jede Altersstufe die gleiche Anzahl von Messungen aus.

Beim Vergleich von O_2 - zu CO_2 -Messung wird nochmals der größere systematische Meßfehler der O_2 -Messung deutlich.

Auf die Darstellung der Ansprechzeit der Elektroden wurde verzichtet, da zu viele variable Größen (Hautdicke, lokale Durchblutung, unterschiedliche Stoffwechselvorgänge) in die Messung eingehen und diese Parameter nicht exakt bestimmbar sind.

2. Kontinuierliche Registrierung der transcutanen Blutgase bei Narkosen

2.1. Narkoseeinleitung

Patient Schw., Steph., 3 Jahre

Das folgende Kurvenbeispiel (Schw., Steph., 3 J.) zeigt die Aufzeichnung des Intubationsvorganges bei einer 3jährigen Patientin, die aufgrund eines persistierenden Ductus botalli zur Operation vorstellig wurde.

Wie aus dem Kurvenbeispiel hervorgeht wird die Hyperventilation vor dem Intubationsvorgang - damit soll eine Hypoxie während der Intubation vermieden werden - mit einem steilen Anstieg der O_2 -Messkurve beantwortet. Die mit der Intubation verknüpfte Apnoe führt zu einer sofortigen Abnahme des Sauerstoffgehaltes im Blut, welches vom Monitor registriert wird. Die CO_2 -Kurve zeigt während der Intubation einen kontinuierlichen Anstieg der Kohlendioxidspannung im Blut und dokumentiert die atmungswirksamen Maßnahmen weniger deutlich als die O_2 -Partialdruckmessung.

Die kurzzeitige Hyperventilation nach erfolgter Intubation und das Anschließen der Patientin an den Ventilator, sowie die damit verbundene Änderung der Blutgassituation führen zu korrespondierenden Änderungen am tc-Monitor.

Wie bei anderen Messungen zeigt sich auch bei diesem Beispiel, daß die Ansprechbarkeit des im Blut gelösten O_2 größer als die des CO_2 ist, was sich in einem belebten Bild der O_2 -Meßkurve und einem fast ausnahmslos konstanten Verlauf der CO_2 -Kurve bei den einzelnen respiratorisch wirksamen Manipulationen darstellt.

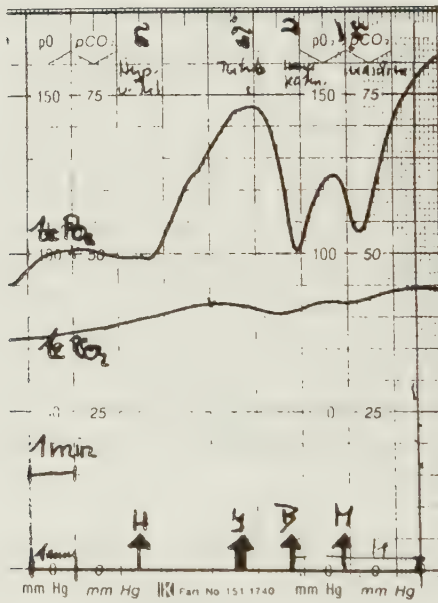


Abb. 11: Patientin Schw., Steph., 3 Jahre, persistierender Ductus botalli

2.2. Spontanatmung, Handbeatmung

Patient K p., Dan., 2 1/2 Jahre

Im vorliegenden Kurvenbeispiel eines 2 1/2j hrigen Patienten mit Trachealstenose, bei dem eine Routinebronchoskopie durchgeführt wurde, zeigte sich, daß das Kind mit einer Halothan-konzentration von 1,2 l nicht ausreichend narkotisiert war und sich durchverst rkte unregelmäßige Atmung gegen die ärztlichen Manipulationen wehrte.

Ventilation von Seiten eines Anästhesisten war durch die Abwehrspannung der Bauchmuskulatur nicht möglich; dadurch kam es zu verminderter Sauerstoffzufuhr, Abfall des O_2 und reziprokem Anstieg des CO_2 .

Erst die Erhöhung der Halothankonzentration auf 2 l ließ eine genügend tiefe Narkose entstehen, die eine problemlose Be-atmung seitens des Anästhesisten zuließ.

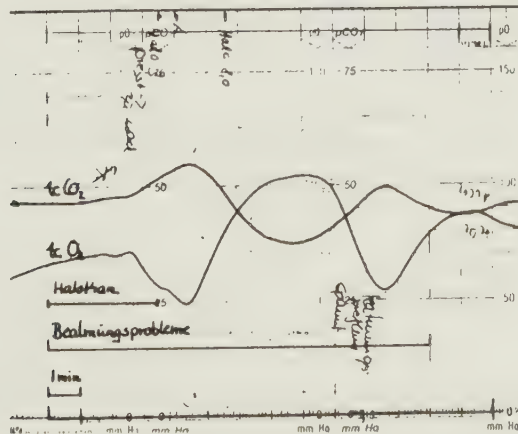


Abb. 12: Patient K p., Dan., 2 1/2 Jahre, Trachealstenose

Patient Hüt., Bern., 2 Monate

Bei diesem 2 Monate alten Knaben wurde eine Inhalationsnarkose durchgeführt, wobei das Kind teilweise spontan atmete und zeitweise assistiert beatmet wurde.

Die Phasen verstärkter Ventilation korrespondieren mit entsprechenden Anzeigen auf dem Monitor und der aufgezeichneten Meßkurve.

Gegen Ende des Eingriffs, nach Reduzierung des Halothans im Narkosegemisch, setzte die Spontanatmung ein, welches anfänglich zu einer zögernden Abatmung des CO_2 führte, es dann aber mit Zunahme des Atemvolumens zu einer verstärkten Abatmung des CO_2 kam.

Das Angebot von reinem Sauerstoff am Ende der Narkose zur Ausschleichung der restlichen Narkotikakonzentration in der Lunge führt zum sofortigen Anstieg der tc O_2 -Meßkurve. Korrespondierend zum Umschalten auf Raumluft fällt die O_2 -Kurve wiederum steil ab.

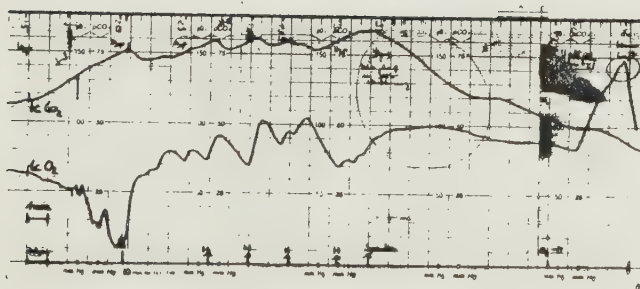


Abb. 13: Patient Hüt., Bern., 2 Monate, Trachealstenose

2.3. Maschinelle Beatmung

Patient Kai., Sa., 4 Jahre

Im vorliegenden Fall einer 4 jährigen Patientin mit Vaginalplastik, die mit einem Servo 900 beatmet wurde, zeigt sich eine, der Konstanz der maschinellen Beatmung entsprechende, gleichmäßige transcutane Blutgaskurve.

Die Reduktion des AMV von 3,8 l auf 3 l zeigt keine tiefgreifenden Veränderungen am Verlauf der Meßkurve von $P\text{ CO}_2$ und $P\text{ O}_2$.

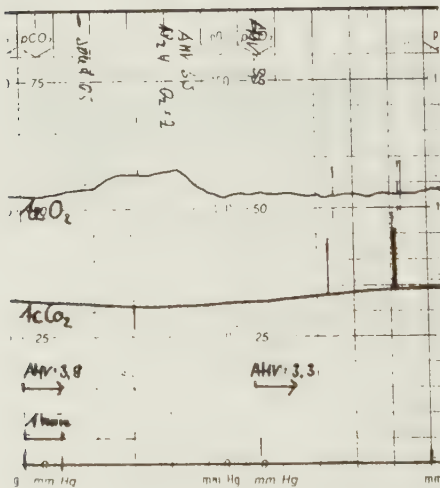


Abb. 14: Kai., Sa., 4 Jahre, Vaginalplastik

Patient Dur., Go., 5 Monate

Nach nasotrachealer Intubation und Beatmung durch den Servo 900 B mit einem AMV von 1,6 l und einer Frequenz von 35 zeigt sich in den Blutgaswerten auch nach Änderung des AMV des Patienten auf 1,8 l und der Frequenz auf 32 keinerlei Veränderung.

Ähnlich wie im vorausgegangenen Kurvenbeispiel zeigt sich eine relative Konstanz an den Blutgasen. Ein rascher Anstieg des P_{CO_2} erfolgt, als die operationstechnisch bedingte Thoraxkompression behoben wird und sich die Lunge wieder unter den von der Maschine gegebenen Atemstößen frei expandieren kann.

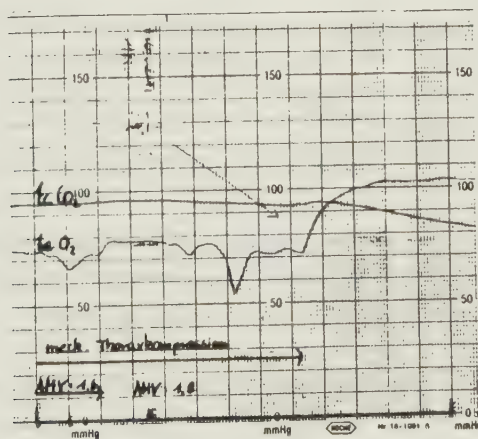


Abb. 15: Patient Dur., Go., 5 Monate, Ileus

2.4. Sonderfälle

2.4.1. Schock

Patient Sin., Mar., 2 Tage

Die Korrektur der laryngoöesophagealen Fistel dieses 2 Tage alten Mädchens bedeutete für die Patientin aufgrund ihres Alters, der Art des Eingriffs, der Dauer der Operation und nicht zuletzt aufgrund des zu erwartenden Blutverlustes einen Risikoeingriff.

Die Patientin wurde naso-tracheal intubiert und mit dem Servo 900 ventiliert. Im Verlauf der Operation zeigte sich durch den abfallenden $P O_2$, daß

- die Ventilation nicht den O_2 -Bedarf des Organismus decken konnte;
- durch den bis dahin zu verzeichnenden Blutverlust die Patientin nicht mehr ausreichend mit Sauerstoff perfundiert wurde.

Handbeatmung mit 100 % Sauerstoff und Frischblutgabe führten zu einer Korrektur der Sauerstoffwerte. Der darauffolgende steile Abfall der O_2 -Kurve wurde durch die intraoperativ erfolgte Milzruptur und den damit verbundenen Blutverlust hervorgerufen, was unmittelbar zur Schocksymptomatik führte.

Gut läßt sich an diesem Beispiel die Abhängigkeit der transkutanen Messung vom Kreislaufzustand demonstrieren.

Die adrenalinbedingte Vasokonstriktion führte bei der Patientin zu einer verminderten Perfusion der Peripherie und damit zu einer verminderten Arterilisation der Kapillaren.

Die Auswirkung - eine verringerte O_2 -Diffusion zur Elektrode - führt zu einem Abfall des transcutanen O_2 -Wertes.

Die Hypovolämie der Patientin wurde durch die Infusion von Frischblut, die Hypoxie durch gleichzeitige Ventilation mit 100 % O_2 unter Kontrolle gebracht, was sich an der Stabilisierung der Blutgaswerte überprüfen ließ.

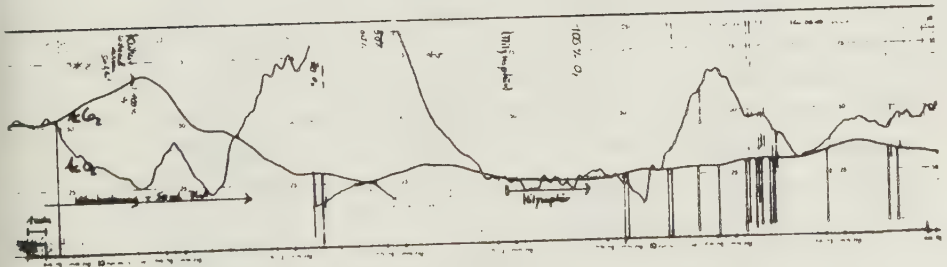


Abb. 16: Patientin Sin., Ma., 2 Tage, laryngoöesophageale Fistel

Patient Dur., Go., 5 Monate

Anmerkung: Bei diesem Kurvenbeispiel fiel der CO_2 -Monitor aufgrund technischer Defekte aus.

Bei diesem 5 Monate alten Knaben mußte ein Ileus notfallmäßig operiert werden.

Das Kind befand sich praeoperativ durch die beginnende Peritonitis in einem schlechten Allgemeinzustand.

Es erfolgte eine nasotracheale Intubation und anschließend eine maschinelle Ventilation (Babylog, Fa. Dräger).

Intraoperativ verfiel das Kind zusehends, was eine Ventilation von Hand notwendig machte.

Das transcutane Meßgerät beantwortete diese Maßnahme mit einem steilen Anstieg der tcP O_2 -Kurve; der aber unmittelbar danach eintretende Abfall des Sauerstoffs weist auf den bereits eingetretenen Schock und die damit verbundene Minderperfusion des Gewebes hin.

Nach Versorgung mit Frischblut sowie sofortiger Einleitung der Schocktherapie ließ sich eine Verbesserung der Kreislaufsituation erzielen, welches durch ein langsames Ansteigen und einer Stabilisierung der O_2 -Kurve auf dem transcutanen Meßgerät angezeigt wurde.

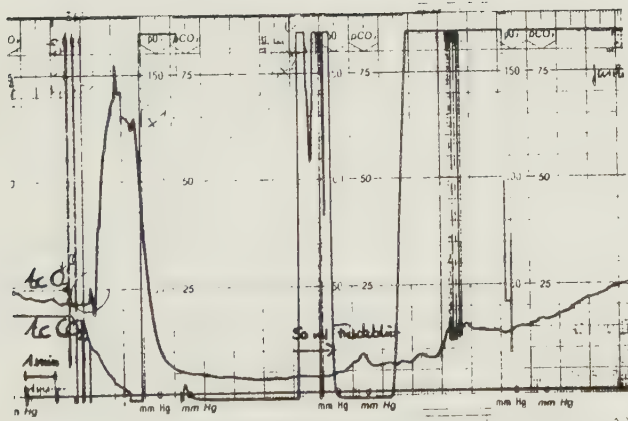


Abb. 17: Patient Dur., Go., 5 Monate, Ileus

2.4.2. Bronchoskopie

Patient Mel., De., 6 1/2 Jahre

Bei dem vorliegenden Fall handelt es sich um eine Routine-bronchoskopie eines 6 1/2 jährigen Knaben mit Verdacht auf chronische Bronchitis.

Vor der Intubation erfolgte eine Maskenatmung mit einem Halothan-Lachgas-Sauerstoffgemisch. Die kurzfristig vor der Intubation durchgeführte Hyperventilation mit 100 % Sauerstoff führte zu einem steilen Anstieg der transcutanen P_{O_2} -Meßkurve.

Die Intubationsphase, in der der Patient zwangsläufig ohne Frischgaszufuhr verbleibt, führte aufgrund der vorausgegangenen Hyperventilation mit reinem Sauerstoff zu keinem Abfall in der O_2 -Sättigung des Blutes, was man anhand des Kurvenverlaufs überprüfen kann.

Vor Einführung der Optik in Trachea und Bronchialsystem erfolgte eine erneute assistierte Beatmung über das Kuhnsystem, um die O_2 -Konzentration möglichst konstant zu halten, und um eine suffiziente Beatmung gewährleisten zu können.

Das Einführen bzw. der Wechsel der Optiken in Apnoe ruft unweigerlich eine Minderventilation hervor und kann zu kurzfristigen hypoxischen Phasen führen.

Eine kurzfristige Apnoephase korrespondiert mit einem sofortigen Abfall der O_2 -Kurve, sowie einem neuerlichen Anstieg, nachdem die Beatmung seitens des Anästhesisten wieder aufgenommen wird.

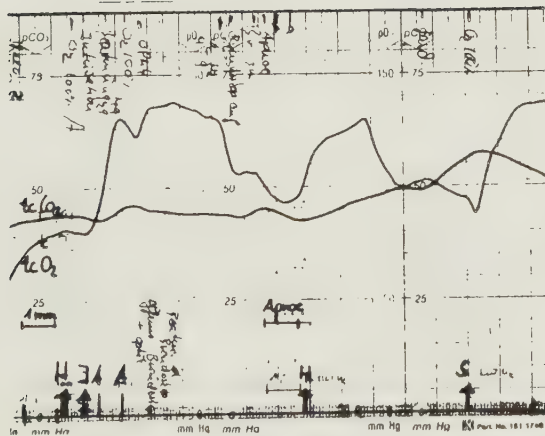


Abb. 7: Patient Mel., De., 6 1/2 Jahre, chron. Bronchitis

Patient Ha., Si., 10 Monate

Da es sich bei diesem 10 Monate alten Mädchen um ein ehemaliges Frühgeborenes handelt, ergaben sich bereits sehr früh respiratorische Probleme, verursacht durch stenotisierende Abschnitte im distalen Bronchusbereich.

Die Entwöhnung vom Respirator gestaltete sich sehr schwierig - im weiteren Verlauf war eine Tracheotomie unumgänglich, da die insuffiziente Atmung persistierte. Nach weitgehender Stabilisierung des respiratorischen Systems stellte sich die Frage nach Extubation.

Bereits vor Beginn der eigentlichen Bronchoskopie zeigten sich die ersten Beatmungsprobleme, die sich in einem steilen Abfall der O_2 -Kurven, sowie in einem verzögerten aber deutlich sichtbaren Anstieg der CO_2 -Kurve widerspiegeln.

Diese Anfälligkeit für die Entwicklung hypoxischer Zustände zeigte ebenfalls der folgende Verlauf der Bronchoskopie. Die Phasen der Extubation kamen durch einen raschen Abfall des O_2 und einem langsamen Anstieg des CO_2 deutlich zum Ausdruck, die sich durch Intubation und anschließender Hyperventilation mit 100 % Sauerstoff kompensieren ließen. Eine kurze Phase der Apnoe zeigte durch rapide Änderung im Verlauf des O_2 und CO_2 die drohende Gefahr einer Hypoxie auf und verweist eindrucksvoll auf das Risiko, das mit mehr oder weniger respiratorisch instabilen Patienten verbunden ist.

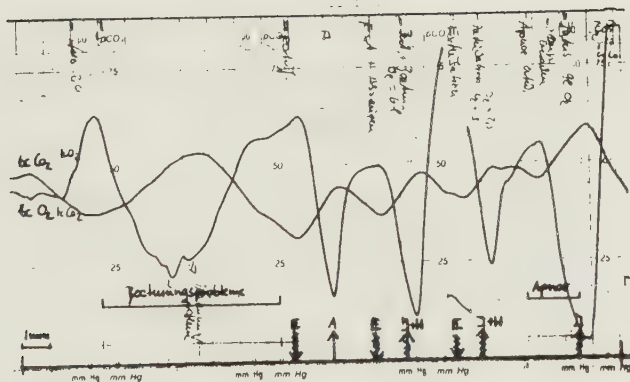


Abb. 19: Patientin Ha., Si., 10 Monate, ehemaliges Frühgeborenes mit stenotisierenden Bronchusveränderungen

2.4.3. Maskennarkose

Patient Fr., Chr., 6 1/2 Jahre

Bei dieser Routineoperation eines 6 1/2 jährigen Knaben wurde auf eine Intubation verzichtet und eine Maskennarkose mit einem Halothan-Lachgas-Sauerstoffgemisch durchgeführt.

Der vorliegende Kurvenverlauf zeigt eine gewisse Konstanz, was für eine gleichmäßige ausreichende Ventilation seitens des Anästhesisten spricht.

Der zu verzeichnende Anstieg der CO_2 -Meßkurve findet seine Ursache in der einsetzenden Spontanatmung des Patienten, wobei die Menge des abgeatmeten CO_2 noch nicht ausreicht, um eine Hyperkapnie zu verhindern.

Durch Anstieg der Atemfrequenz und des Atemzugvolumens, verursacht durch die CO_2 bedingte Stimulation des Atemzentrums, sowie durch die Reduktion der Narkosegase wird die CO_2 -Atemung suffizient, was sich in einem deutlichen Abfall der transcutanen CO_2 -Meßwerte demonstriert.

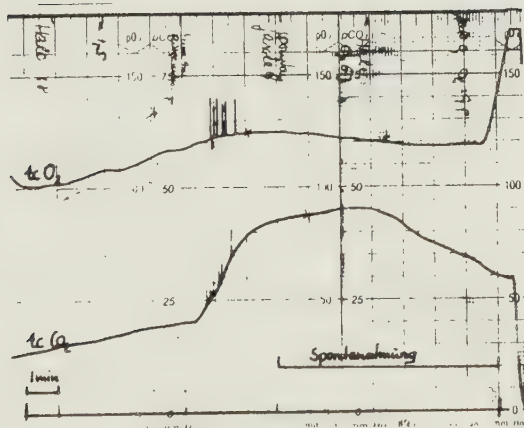


Abb. 10: Patient Fr., Chr., 6 1/2 Jahre, Phimose

2.4.4. Laryngospasmus

Patient Wei., Chr., 2 Jahre

Nach Beendigung einer Kontrollbronchoskopie und anschließender Extubation eines 2 jährigen Patienten entwickelte dieser einen Laryngospasmus, welcher sich in einem rapiden O_2 -Abfall äußert.

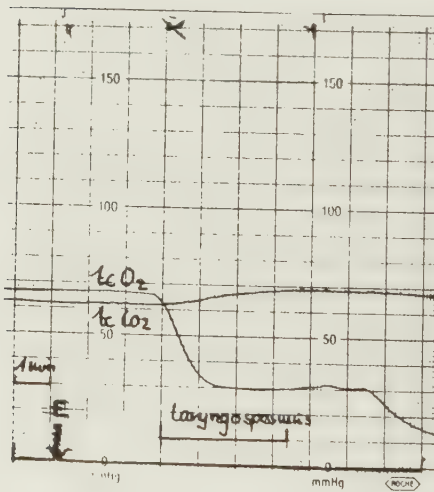


Abb. 21: Patient Wei., Chr., 2 Jahre, Stridor

2.4.5. Mechanische Beeinflussung der Thoraxexkursion

Patient Sch., W.-G., 1 1/2 Jahre

Oftmals führen unzuweckmäßige Lagerungen, oder wie in diesem Fall eine Kompression des kindlichen Thorax zu einer mangelnden Entfaltung der Lunge, damit zu einem unzureichenden Sauerstoffangebot und einer verminderten Abatmung von CO_2 , was zu einer iatrogenen Globalinsuffizienz mit Hypoxie und Hyperkapnie führt, wie sich im vorliegenden Beispiel gut an der abfallenden arteriellen O_2 -Spannung und ansteigenden CO_2 -Spannung demonstrieren läßt.

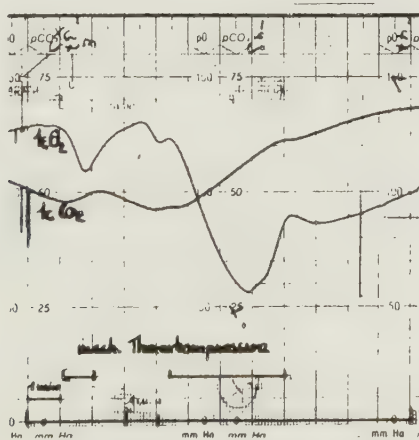


Abb. 22: Patient Sch., W.-G., 1 1/2 Jahre, Leistenhernie und Retentio testis

2.4.6. Akzidentielle Extubation

Patient Ku., Th., 2 Monate

Bei diesem 2 Monate alten Knaben wurde eine Operation im Pharynx-Larynxbereich zur Korrektur des Frenulums durchgeführt.

Operationen in diesem Gebiet stellen ein erhöhtes Risiko für den Patienten dar und bedürfen besonderer Aufmerksamkeit seitens des Anästhesisten, da sehr leicht die Möglichkeit der Extubation gegeben ist.

Im vorliegenden Fall wurde das Extubationsereignis vom tc-Monitor durch einen markanten Abfall des tcP O₂, sowie einen Anstieg des tcP CO₂-Wertes festgehalten.

Um eine ausreichende Ventilation des Patienten wieder herzustellen wurde ein Guedeltubus eingeführt, sowie mittels Maske und 100 % O₂-Zufuhr beatmet.

Der Erfolg dieser Maßnahme spiegelt sich in einem rapiden O₂-Anstieg wieder, der dem Anästhesisten Gewißheit über die ausreichend korrigierte Blutgassituation verschafft.

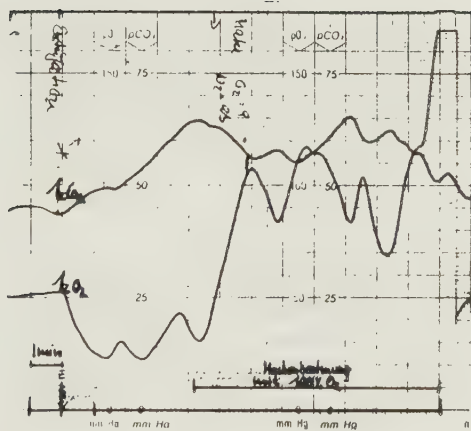


Abb. 23: Patient Ku., Th., 2 Monate, Fixierung des Frenulums

D. DISKUSSION

Seit Entwicklung der transcutanen O_2 -Elektrode durch Clark 1954 wird diese Art der nicht-invasiven Blutgasbestimmung vielfach routinemäßig auf Intensivstationen eingesetzt und ist Gegenstand zahlreicher Studien geworden, die u.a. die Korrelation von $Pa\ O_2$, $Pa\ CO_2$ zu $tcP\ O_2$ und $tcP\ CO_2$, die Stabilisierungszeit und den Einfluß von Inhalationsnarkotika zum Gegenstand ihrer Untersuchungen haben (Huch, 1974; Duc et al.; 1975, Versmold, 1976; Peabody, 1978; Eberhard, 1972).

Mit der transcutanen Messung verfügt man über eine Möglichkeit, kontinuierlich die Blutgassituation im Organismus zu überwachen. Dies ist insbesondere auf neonatologischen Einheiten von großer Bedeutung aufgrund der ständigen Gefahr der Asphyxie als auch der Hyperoxygenierung des Frühgeborenen, die zum Ausgangspunkt irreparabler Residuen werden können (Dangl, 1983).

In immer größerem Umfang findet die transcutane Messung auch Einsatz in der Anästhesie: zur Verlaufskontrolle intraoperativ als auch zur Überwachung unvermeidlicher anoxischer Phasen, wie In-, Um-, Extubation, oder den Wechsel der Optiken in der Bronchologie (Stöckl, 1984). Gerade in der Kinderanästhesie ist man auf eine möglichst genaue Überwachung der Beatmung und Sauerstoffzufuhr angewiesen, da insbesondere bei Neu- und Frühgeborenen die alveoläre Ventilation und Oxygenierung des arteriellen Blutes starken Schwankungen unterliegt (Dangl, 1983).

Es kann eine unkontrollierte Hyperoxygenierung des Früh- und Neugeborenen während einer nur kurzdauernden Allgemeinnarkose bereits zu bleibenden Schäden an der Retina führen.

1. Korrelation und Beeinflussung der transcutanen und arteriellen P_{O_2} und P_{CO_2} Werte

1.1. P_{O_2}

Die Korrelation von tcP_{O_2} und Pa_{O_2} hat sich bei uns in den Altersgruppen 0-1 Jahr und 1-3 Jahre als wenig befriedigend dargestellt.

Dieses Ergebnis entsprach nicht den Erwartungen, da gerade im Frühgeborenen-, Säuglingsalter als auch im Kleinkindesalter die Epidermis dünner und mit einem wesentlich dichteren Kapillarnetz versorgt wird, als es beim älteren Kind und beim Erwachsenen der Fall ist, was an und für sich das Ergebnis der Korrelation beider Meßwerte positiv beeinflußt (Southwood, 1956; Ryan TJ, 1973). Auch in den Altersgruppen 3-6 Jahre und > 6 Jahre erwies sie sich schlechter als erwartet.

Die bereits in vergangenen Studien beobachtete Drift der transcutanen P_{O_2} -Werte zu höheren Werten - im Vergleich zu den arteriellen P_{O_2} -Werten - konnten wir nicht in dem Ausmaße beobachten. Es ergab sich eher eine Drift zu niedrigeren tcP_{O_2} -Werten.

Wir führen dieses Ergebnis am ehesten auf eine Autoxygenisation der arteriellen Blutgaswerte zurück. Wenngleich die arteriellen Gaschecks nach Probenentnahme möglichst schnell der Auswertung zugeführt wurden, konnte teilweise aus operationstechnischen Ursachen eine Autoxygenierung der Probe nicht verhindert werden.

Oftmals konnten wir auch die von anderer Seite (Huch et al.) empfohlene Latenz von 10-20 sec., die die transcutane Messung im Vergleich zur arteriellen Blutgasbestimmung länger

braucht, bei der Probenentnahme nicht berücksichtigen (Huch, 1981; Versmold, 1978; Versmold, 1976), was ebenfalls als Ursache für eine Drift zu niedrigeren Werten angesehen werden kann.

Ein weiterer Faktor, der die Messung entscheidend beeinflussen kann, ist die starke Abhängigkeit der Hautperfusion und damit der transcutanen O_2 -Messung vom hämodynamischen Zustand.

Der Haut, die in der Reihe der im Schock zu perfundierenden Organe mit an letzter Stelle steht, wird bei Entwicklung einer Schocksymptomatik sofort die Blutzufuhr gedrosselt, was sich im Abfall des transcutanen Meßwertes niederschlägt. Bei einer angezeigten Hypoxämie gilt es also zwischen circulatorischer und respiratorischer Ursache zu differenzieren (Shoemaker, 1981; Eberhard, 1981; Tremper, 1981; Eberhard, Mindt, 1981).

Bedingungen, wie arterielle Hypotension, hypovolämischer Schock (RR 10-33 mm Hg), anämische Hypoxämie, Acidose, Hautödeme und Hypothermie können ebenfalls zu einer verminderten Korrelation führen (Versmold 1979, Brünstler 1982).

Parzinger et al. zeigte in einer Studie an Hunden, daß sowohl beim normo- als auch beim hypovolämischen Schock die transcutanen $P O_2$ -Werte unter die des zentralvenösen Sauerstoffgehaltes fielen und es keine signifikante Korrelation mehr zwischen transcutanen und arteriellen $P O_2$ bestand. Diese Ergebnisse wurden auch von anderer Seite bestätigt.

Nicht zu vernachlässigen ist auch der Einfluß, den Inhalationsnarkotika auf die Meßgenauigkeit der tcP O₂-Elektrode ausüben, weil sie die Polarität der Elektrode verändern (Eberhard, 1981; Gothgen, 1979).

Lachgas führt zu einem konstanten Fehler an Silberelektroden. Diese Fehler können zwar durch ständige Nachmessung intraoperativ ermittelt und gegebenenfalls korrigiert werden, doch andererseits stellt diese Methode aber auch einen großen Zeitaufwand dar.

Halothan ruft eine konzentrationsabhängige Drift der transcutanen Meßwerte (speziell der O₂-Werte zu höheren Werten) hervor, welche durch die Reduktion von Halothan an der Edelmetallelektrode entsteht. Abhilfe könnte hier die Verwendung von halothanundurchlässigen Mylarmembranen schaffen, bzw. die Anwendung von Goldelektroden mit einem geeigneten pH-Wert der Elektrolytlösung (Eberhard, 1979; Eberhard, 1981; Gothgen, 1979).

Selbst leichter Druck auf die Elektroden führt zu einer Beeinträchtigung der Meßgenauigkeit des transcutanen Meßgerätes. Leichter Druck auf die Elektrode, sei es durch Abdeckentücher intraoperativ oder durch Fixieren der Elektroden mit Pflaster, kann die Werte, wie wir es beobachten konnten, zu höheren Werten verschieben, bzw., zum gänzlichen Ausfall der Elektrode führen. Eine erhebliche Störanfälligkeit beobachteten wir auch beim Einsatz des Elektrokauters: je näher die Elektrode am OP-Feld fixiert und je stärker der Elektrokauter war, umso stärker die Störung.

1.2. P_{CO_2}

In den Altersgruppen 0-1 J. und 1-3 J. fanden wir eine gute Korrelation von tcP_{CO_2} und Pa_{CO_2} , die in den beiden älteren Altersgruppen keine Fortführung fand - am ehesten auf die Änderung in der Hautbeschaffenheit zurückzuführen.

Die größere Unempfindlichkeit des transcutanen P_{CO_2} -Sensors für hämodynamische Einflüsse, wie pH-Wert, pK, Körpertemperatur und Blutdruck, sowie eine wesentlich schnellere Diffusion des CO_2 durch die Gewebs- und Hautschichten mag u.a. Ursache für die bessere Übereinstimmung zwischen arteriellen und transcutanen Meßwerten sein (Brünstler, 1982; Eberhard, 1981; Tremper, 1980).

Auch Einflüsse auf die Meßgenauigkeit durch die Inhalationsnarkotika entfallen bei der tcP_{CO_2} -Messung, was für den Einsatz in der Anästhesie gegenüber dem tcP_{O_2} -Monitor von entscheidender Bedeutung bzw. Vorteil ist, insbesondere dort, wo maschinell beatmet wird: So kann die Ventilation durch die kontinuierliche tcP_{CO_2} -Kurve quasi "Meßwert-gesteuert" werden (Eberhard, Mindt, 1981).

Den schon in vorausgegangenen Studien beschriebenen Effekt, daß der tcP_{CO_2} zumeist eine Abweichung zu höheren Werten vor allem während hypoxischer Phasen im Vergleich zu den Pa_{CO_2} -Werten erfährt, konnten auch wir beobachten (Brünstler, 1982; Shoemaker, 1981; Eberhard, 1981; Rama Bhat., 1981).

Als Ursache für den erhöhten tcP CO_2 nahm Brünstler den abnehmenden "Wash out effect" bei verminderter Hautperfusion an. Bompard spricht von einem additiven Effekt, der durch den zellulären Metabolismus der Haut noch zusätzlich in die Messung einbezogen werden muß.

Die Heizkraft der Elektrode führt ebenfalls zu einer Erhöhung des arteriellen P CO_2 -levels von $4,5 \text{ }^\circ\text{C}$, der im Vergleich zum arteriellen mit einem überhöhten transcutanen Meßwert beantwortet wird (Eberhard, 1981). Wenngleich die transcutane Messung eine bessere perioperative Überwachung der arteriellen Kohlensäurespannung gewährleistet, als es die transcutane Überwachung der arteriellen Sauerstoffspannung vermag, so ist dennoch zu berücksichtigen, daß bei jedem Patienten ein individueller Meßfehler zu beachten ist, der durch die Bestimmung der arteriellen Blutgaswerte zu korrigieren ist. Dies ist allerdings mit invasiven Maßnahmen verbunden und bekräftigt letztlich die Unersetzbarkeit der arteriellen Blutgaskontrolle (Keller H.E., Fischer W., Versmold H.T., Severinghaus 1980).

2. Bedeutung des transcutanen $\text{P O}_2/\text{P CO}_2$ Meßgerätes in der Anästhesieroutine

Über die Zeitspanne, die das transcutane Blutgasgerät braucht, um stabile mit den arteriellen Werten korrelierende Meßergebnisse zu liefern, können keine eindeutige Aussagen gemacht werden, da sich weder bei der transcutanen O_2 -Elektrode noch bei der CO_2 -Elektrode in den verschiedenen Altersgruppen besondere Trends ergaben. Dies mag u.a. dadurch verursacht worden sein, daß die Zeitspanne, die zum Erreichen einer gewissen Stabilisierung empfohlen wird, aus organisatorischen Gründen nicht eingehalten werden konnte. Die Unterschiede, die im Ausmaß der Stabilisierungszeit sichtbar

wurden, lassen sich vor allem auf die bei jedem Patienten u.a. altersabhängigen differenten klinischen Konditionen, wie Alter, Hautdicke, Hauttyp, sowie auf den nicht zu unterschätzenden Einfluß der Umgebungstemperatur zurückführen (Huch, 1981; Versmold H.T., Linderkamp O., 1978).

Da oftmals in der Anästhesie die empfohlene Stabilisierungszeit nicht abgewartet werden kann, sei es durch räumliche Verhältnisse, die ein rechtzeitiges Fixieren der Elektroden unmöglich machen, oder durch die das Beatmungsmuster korrigierenden Maßnahmen, welche zu einer Unverläßlichkeit eingangs der Messung führen, die meist zeitlich mit Beginn der Narkose oder der Operation zusammenfällt, Phasen, in denen eine verläßlichere Überwachung der Blutgassituation wünschenswert wäre, könnte ein vom Netzstrom unabhängiges Gerät, welches das Kind prä-, intra- und postoperativ begleitet und von räumlichen Gegebenheiten unabhängig ist, eine wünschenswerte Alternative darstellen. Für die O_2 -Überwachung ist dies bereits möglich.

Für den routinemäßigen Einsatz der zum großen Teil kurzen kinderchirurgischen Eingriffen von einer halben bis andert-halb Stunden ist im Moment die ständige perioperative Überwachung der transcutanen Blutgaswerte technisch noch nicht realisierbar, da für diese kleineren Eingriffe Zeit, Kosten und personeller Aufwand dieser Meßtechnik noch zu aufwendig sind. Für die sichere Überwachung und Steuerung der Narkose-atmung und Beatmung der Zukunft sollte dieses System jedoch unbedingt weiterentwickelt werden.

Ein Nachteil bei der Narkoseeinleitung war die Trägheit der Meßelektrode, insbesondere die der $P\ CO_2$ -Elektrode, die sich am Patienten bei den Phasen der Ex- und Intubation, sowie der Apnoe nur relativ träge verhielt, im Gegensatz zu der in vitro Ansprechzeit (Vermold, 1978).

Vermold et al. führen dieses Phänomen unter anderem auf den in der Haut, wie auch in anderen Geweben vorhandenen Bicarbonatpool zurück, der rasche $P\ CO_2$ -Änderungen dämpft, sowie auf einen weiteren Effekt, hervorgerufen durch den Diffusionswiderstand der Haut.

Handelt es sich jedoch um Risikopatienten, bei denen während der Intubationsphase mit Komplikationen gerechnet werden muß (schwere Lippen-Kiefer-Gaumenspalten, Laryngo-Tracheomalazie oder stenotisch veränderte Trachealbezirke), so bietet der transcutane Monitor dem Anästhesisten die Möglichkeit, kritische hypoxische Phasen frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden, gegebenenfalls die Intubation kurz zu unterbrechen, und durch Maskenventilation eine Stabilisierung des Zustandes zu erzielen.

Bei der kontrollierten Beatmung liegt die Ventilation nicht in den Händen des Anästhesisten, sondern wird maschinell durchgeführt. Deshalb ist es wichtig, eine korrekte Einstellung, die den respiratorischen Bedürfnissen des Patienten angepaßt ist, zu wählen, um eine ausreichende Ventilation zu gewährleisten.

Wie von anderer Seite betont wird (Versmold et al., 1981), eignet sich die transcutane CO_2 -Messung gut für die "trial and error"-Phase der Ventilationseinstellung, (der P CO_2 stellt ein direktes Maß für die alveoläre Ventilation dar) sowohl für den P CO_2 als auch für den P O_2 (Bünstler et al., 1981; Erny et al., 1981). Dieses konnten wir nicht bestätigen. Wir mußten nur geringfügige Änderungen an der Ausgangsmaschineneinstellung vornehmen, da es sich bei uns um Kinder mit einer normalen gesunden Lungenfunktion handelte. Wenn größere Korrekturen an der Maschineneinstellung vorgenommen wurden, riefen diese nur minimale Änderungen an der transcutanen Meßelektrode hervor.

Der Einsatz der kontinuierlichen Blutgasmessung erscheint uns aber indiziert:

- bei Eingriffen am Thorax, d.h. wenn die Lunge durch die Operation in ihrer Funktion eingeschränkt ist,
- bei mehrstündigen Eingriffen, um durch den Kurvenverlauf rechtzeitig auf notwendige Korrekturen der maschinellen Beatmung hingewiesen zu werden und
- bei Narkosen von Kindern mit Lungenschäden (z.B. Mucoviscidose, bronchopulmonale Dysplasie).

3. Bedeutung der transcutanen Meßelektrode bei Sonderfällen

Bei längerandauernden bzw. vorher absehbaren Risikoeingriffen erwies sich die Verwendung der Elektrode als recht sinnvoll. Eine sich entwickelnde Schocksymptomatik konnte durch das klinische Bild, den abfallenden $P O_2$ sowie den mit einiger Latenz ansteigenden $P CO_2$, verursacht durch die im Schock verminderte Hautperfusion, frühzeitig erkannt und durch rechtzeitig kompensierende Maßnahmen sicher bekämpft werden.

Die transcutane kontinuierliche Messung ermöglichte es des weiteren den Effekt der Maßnahmen und ihre Auswirkung auf den Organismus zu überprüfen, was einem bei punktueller Entnahme der Blutgase versagt bleibt. Durch die simultane Messung von $P O_2$ und $P CO_2$ läßt sich eine Differenzierung zwischen pulmonalen und extrapulmonalen Ursachen einer Hypoxie vornehmen. So ist ein erhöhter $P CO_2$ ein verlässliches Zeichen für die alveoläre Hypoventilation oder behinderte alveolokapilläre Diffusion. Die transcutane Messung erweist sich deshalb u.a. als guter Indikator für tracheobronchiale Blockaden, Kompressionen und gestörte Thoraxmechanik.

So wies bei einem Patienten während eines Eingriffes im Mundbereich, neben der entsprechenden klinischen Symptomatik, der Verlauf der CO_2 -Kurve auf eine akzidentelle Extubation hin. Durch Einführen eines Guedeltubus und Maskenventilation mit 100 % O_2 wurde sofort wieder eine stabile Ausgangslage hergestellt. Die gute Überwachungsmöglichkeit bei einer plötzlichen Extubation wurde u.a. auch von Huch et al. beschrieben.

Die Empfindlichkeit juveniler Strukturen gegenüber Zug und Druck sowie die teilweise erheblichen Schwankungen, die bei der alveolären Ventilation und der arteriellen Oxygenierung durch mechanische Thoraxkompression, und sei er nur durch unmittelbaren Druck durch die Hände des Chirurgen, ausgelöst werden können, werden oftmals unterschätzt. Hier bietet sich mit der transcutanen Überwachung die Möglichkeit, den Einfluß solcher Störgrößen auf die Blutgase eindrucksvoll zu dokumentieren und wirksame Gegenmaßnahmen einzuleiten.

Der transcutane P_{O_2}/P_{CO_2} -Monitor wurde auch bei der Bronchoskopie zur Überwachung der Blutgase eingesetzt, da kinderbronchologische Eingriffe zunehmend häufiger zu Risikoeingriffen werden, insbesondere dann, wenn es sich um Patienten von Intensivstationen handelt, und eine kontinuierliche Überwachung des Sauerstoff- und Kohlendioxidpartialdruckes wünschenswert ist, um Komplikationen zu vermeiden. Der Blutgasmonitor ermöglicht es, Phasen der Um- und der Extubation, des Wechsels der verschiedenen Optiken, des Absaugens und die damit einhergehenden Phasen der Apnoe exakt zu begrenzen und eine beginnende Hypoxämie rasch aufzufangen.

Auch der bei einem Patienten plötzlich auftretende Laryngospasmus wurde zuverlässig sofort registriert und konnte durch unmittelbare Maskenventilation beeinflußt werden. Während längerer bronchologischer Eingriffe erhöht dieser Monitor die Sicherheit für den Anästhesisten, und es ergibt sich für ihn eine bessere Steuerung der Beatmung von Hand als auch eine bessere Steuerung der Injektorbeatmung (Mantel, 1976; Mantel, Stöckel, 1981).

Abschließend kann man feststellen, daß die transcutane Sauerstoff- und Kohlendioxidmessung für einen routinemäßigen Einsatz bei den meist kurzen kinderchirurgischen Eingriffen aufgrund zu großen personellen, technischen und kostenmäßigen Aufwand nicht zu befürworten ist.

Hingegen ist ihr Einsatz bei längerdauernden, sowie vorher absehbaren Risikoeingriffen zu unterstützen, da sie während der gesamten Operationsdauer eine gute Trendmessung bietet und ein frühzeitiges Erkennen von kritischen Ventilationsänderungen ermöglicht.

Besonders für die prä- und postoperativen Phasen in der Anästhesie, in der eine exakte Überwachung des Ventilationsmusters von großem Nutzen wäre, aufgrund oftmals plötzlich eintretender respiratorischer Veränderungen, wäre ein vom Netzstrom unabhängiges transcutanes P_{O_2}/P_{CO_2} -Gerät wünschenswert.

E. ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit prüft die Möglichkeit eines routinemäßigen Einsatzes der fortlaufenden Messung der Blutgase mit Hautelektroden in der Kinderanästhesie.

Die transcutane Meßmethode kam bei 75 Patienten zum Einsatz: Es waren 69 kinderchirurgische Eingriffe und 6 Bronchoskopien. Die Meßwertaufnahme über zwei Hautelektroden - eine $P O_2$ und eine $P CO_2$ Elektrode - erfolgte kontinuierlich und wurde mittels eines Schreibers graphisch dargestellt.

Es wurde der relative Fehler f der transcutanen Messung bezüglich der blutigen, arteriellen Blutgasmessung errechnet, ferner der Mittelwert des relativen Fehlers x und die Standardabweichung. Die CO_2 -Messung ergab eine bessere Korrelation als die O_2 -Messung.

Es wurden Verlaufskurven aus der Anästhesieroutine sowie transcutane Blutgasmessungen bei anästhetischen Sonderfällen - Schock, Extubation u.a. - kritisch analysiert. Dabei ergab sich insbesondere bei pulmonalen Risikopatienten, daß dieses nichtinvasive, kontinuierliche Monitoring sehr früh und zuverlässig kritische Phasen der Oxygenierung und Ventilation signalisieren kann.

Die Arbeit setzt sich auseinander mit der Beeinflußbarkeit der transcutanen Blutgaswerte durch physikalische und technische Störgrößen und nimmt Stellung zur Frage, ob diese Methode für die Kinderanästhesie routinemäßig einsetzbar ist. Dabei muß festgestellt werden, daß die transcutane Blutgasmessung für die kurzen kinderchirurgischen Eingriffe noch zu

aufwendig und träge, hingegen für Risikoeingriffe und länger-dauernde Operationen zu befürworten ist, wenn es gelingt, die Hautelektroden so zu platzieren, daß das Operationsgebiet frei zugänglich bleibt.

Abschließend werden technische Verbesserungsvorschläge gemacht.

F. LITERATUR

- Baumberger J.P., Goodfriend R.B.: Determination of arterial oxygen tension in man by equilibration through intact skin. Fed. Proc. 10:10 (1951)
- Brünstler I., Enders A., et al.: Skin surface PCO₂ monitoring in newborn infants in shock: Effect of hypotension and electrode temperature. The Journal of Pediatrics, Vol.: 100, No. 3 (1982)
- Clark L.C.: Measurement of oxygen tension. Critical Care Medicine, 10 (1981)
- Clark L.C.: Monitor and control of blood tissue oxygen tension. Trans. Am. Soc. Art. Int. Org. 2:41 (1951)
- Dangl P.: Die transcutane P O₂ und P CO₂ Messung eine Möglichkeit zur Narkoseeinleitung bei Kleinkindern? Narkosebeatmung im Kindesalter. Klin. Anaesthesiologie und Intensivtherapie 26:34 Springer Verlag (1983)
- Duc. G., Bücher H.V., et al.: Is transcutaneous P O₂ reliable for arterial oxygen monitoring? Pediatrics 55:566 (1975)
- Duc G., Cumarasam: Digital arteriolar oxygen tension as a guide to oxygen therapie of the newborn. Biol. Neonate 24:134 (1974)
- Dudziak R.: Lehrbuch der Anaesthesiologie Schattauer Verlag (1980)

- Eberhard P., Hammacher K., et al.: Perkutane Messung des Sauerstoffpartialdruckes. Methodik und Anwendung Mediz. Technik 1972
- Eberhard P., Mindt W.: Skin Sensors for continuous oxygen monitoring of newborns. Biotelemetry 4:2 (1977)
- Eberhard P., Mindt W.: Interference of anesthetic gases at skin surface sensors for oxygen and carbon dioxide. Critical Care Medicine 9:10 (1981)
- Eberhard P., Mindt W., et al: Cutaneous oxygen monitoring in the newborn. Pediatrician 5:335 (1976)
- Eberhard P., Mindt W., et al.: Cutaneous blood gas monitoring in the adult. Critical Care Medicine 9:10 (1981)
- Eberhard P., Mindt W., et al.: Reliability of methods for skin blood flow measurement during cutaneous P O₂ monitoring. Presented on the second symposium on trans-cutaneous blood gas monitoring, Zürich, October 14-16 (1981)
- Eberhard P., Schäfer R.: A sensor for non-invasive monitoring of carbon dioxide. Journal of clinical engineering, Jan-March 6:1 (1981)
- Eder M., Gedigk P.: Lehrbuch der Allgemeinen Pathologie und der Pathologischen Anatomie. Springer Verlag (1977)
- Erny P.: Cutaneous P CO₂ monitoring and artificial ventilation. Intensive Care Medicine 7: 249-264 (1981)

Fischer K.H.: Oxygen toxicity and bronchopulmonary dysplasia.
Arizona Medicine 33:224 (1975)

Fox R.H.: Temperature regulation with special reference to
man. Recent advances in physiology, ed.: Linden R.J.
Vol. 9 Churchill Livingstone

Gerlach: Über das Hautatmen. Arch. Anat. Physiol. S. 431
(1951)

Gothgen I., Jacobsen E.: Transcutaneous oxygen tension
measurement during halothane and neurolept anesthesia.
Birth Defects 15:4 The national foundation 1979

Greenfield A.D.M.: The circulation through the skin. Handbook
of Physiology, Section Circulation Vol. II, Hamilton
W.F., Dow P. (Eds.) Chap. 39, Washington DC American
Physiology Society 1963

Hertzmann A.B.: Effects of heat on the cutaneous blood flow.
Advances in biology of the skin, Vol. II, Blood vessels
and circulation 1961

Huch R., Huch A.: Transcutaneous measurement of blood P_{O_2}
(tc P_{O_2}) Method and application in perinatal medicine.
Perinatal Medicine 1:183 (1973)

Huch R., Huch A.: Transcutaneous P_{O_2} . Thieme Verlag 1981

Huch R., Lübbers D.: Reliability of transcutaneous monitoring
of arterial P_{O_2} in newborn infants. Arch. Dis. Child.
19:213 (1974)

- Huch R., Lübbers D.: Quantitative continuous measurement of partial oxygen pressure on the skin of adults and newborn babies. *Pflugers Arch. for Physiol.* 337:185
- Keller H.E., Fischer W.: Continuous Transcutaneous Bed-Side Monitoring of Carbon Dioxide Tensions
- Klaus M., Meyer B.P.: Oxygen therapy for the newborn. *Pediat. Clins. Am.* 13:731 (1966)
- Lübbers D.W.: History of transcutaneous P_{O_2} measurement. *Critical Care Medicine* 9:10 (1981)
- Mantel K.: Die transcutane P_{O_2} Messung bei kinderbronchologischen Eingriffen insbesondere bei maschineller Injektorbeatmung. Ferlinz R., Frey R.: *Bronchologische Eingriffe Thieme* 1976
- Mantel K., Butenandt I.: Die maschinelle Injektorbeatmung bei der Laryngotracheoskopie und Bronchoskopie von Kindern. *Med. Klinik* 69: 1797 (1974)
- Mantel K., Stöckel S.: Einsatz eines transcutanen P_{O_2} und P_{CO_2} Blutgasmonitors zur Steuerung bei kinderbronchologischen Eingriffen. Vortrag bei der Jahrestagung der ASS. of pediat. Anaesth. am 13/14.3.81 in Bremerhaven
- Montagna W., Parakkal P.F.: The structure and function of skin New York, Academic Press 1974
- Parzinger G.: Kontinuierliche transcutane P_{O_2} Messung im experimentellen hypovolämischen Schock. Thesis, University Munich, Fachbereich Medizin 1977

- Patz A.: Retrolental fibroplasia. Survey of Ophthalmology 14:1-29 (1981)
- Peabody J.L.: Mechanical ventilation of the newborn. Good news ... Bad news ... Critical Care Medicine 9:10
- Pollich A.: Entwicklung der Kinderbronchologie im Dr. von Haunerschen Kinderspital in München in den Jahren 1968-1976. Dissertationsschrift, Ludwig Maximilian Universität München 1980
- Rama Bhat., Won Dong Ki M., et al.: Simultaneous tissue pH and transcutaneous carbon dioxide monitoring in critically ill neonates. Critical Care Medicine 9:10 pp 744-749 (1981)
- Roberton N.L.Z.: Oxygen therapy in the newborn. Lancet 1, pp 1323-1329 (1968)
- Rooth G., Sjöstedt S.: Bloodless determination of arterial oxygen tension by polarography. Science tools LKW Instruments J. 4:37-45 (1957)
- Rowell L.B.: The cutaneous circulation. Physiology and Biophysics Vol. II, pp 185-199
- Ryan T.J.: The blood vessels of the skin. Physiology and Pathophysiology of the skin, Academic Press (1973) pp 577-801
- Severinghaus J.W.: Workshop on methodological aspects of transcutaneous blood gas monitoring. Acta Anaesth. Scand. 1978

- Severinghaus J.W.: Tc P CO₂ electrode design, calibration and temperature gradient problems. *Acta Anaesth. Scand.* 68:118-120
- Shoemaker R.D., Vidyasagar D.: Physiological and clinical significance of PTe O₂ and PTe CO₂ measurements. *Critical Care Medicine* 9:10 pp 689-690
- Southwood W.F.W.: The sickness of skin. *Plast. Reconstr. Surgery.* 15:123 (1956)
- Steward D.J.: *Manual of Pediatric Anaesthesia.* Churchill, Livingstone
- Stöckel S.: Kontinuierliche Überwachung der Blutgase in der Kinderbronchologie mit P O₂ und P CO₂ Hautelektroden. *Dissertationsschrift, LMU München* 1984
- Tooley W.H.: What are the risks of an umbilical artery catheter? *Pediatrics* 50:1 (1972)
- Tremper K., Shoemaker W.C.: Transcutaneous oxygen monitoring of critically ill adults with and without low flow shock. *Critical Care Medicine* 9:10 pp 706-709
- Tremper K.K., Mentelos R.A., et al.: Effect of hypercarbia and shock on transcutaneous carbon dioxide at different electrode temperatures. *Critical Care Medicine* 8:608 (1980)
- Versmold H.T., Holzmann M.: Skin oxygen permeability in premature infants. *Pediatrics*

Versmold H.T., Linderkamp O., et al.: In vivo vs. in vitro response Time of Transcutaneous P O₂ Electrodes. Acta Anaesth. Scand. 1978, Suppl. 68 pp 40-48

Versmold H.T., Linderkamp O., et al.: Transcutaneous Monitoring in P O₂ in Newborn Infants: Where are the limits? Influence of Blood Pressure, Blood Volume, Blood Flow, Viscosity and Acid Base State. Birth Defects: Original Article Series, Vol. XV, Num. 4, pp 285-294

Versmold H.T., Onken D., et al.: Transcutaneous P O₂ Monitoring in sick newborn Infants. Intensive Care in the newborn, p:269

Versmold H.T., Severinghaus J.W.: Transcutane Überwachung des PCO₂ bei Neugeborenen. Pädiatrische Intensivmedizin III, pp 152-156 Georg Thieme Verlag Stuttgart 1982

Herrn Professor Dr. K. Mantel danke ich für die Überlassung des Themas und für die großzügige Unterstützung bei der Durchführung der Untersuchungen und bei der Auswertung der Ergebnisse.

Herrn Dr. S. Stöckel danke ich für die Unterstützung bei der Meßwertaufnahme.

Fräulein Eva-Maria Meiswinkel danke ich für die kritische Bearbeitung des Manuskriptes, Herrn Peter Detzner für die Mithilfe bei der statistischen Auswertung, ferner Fräulein Angela Hafner, Herrn Anton Heusinger und Herrn Hans Martin für die kritische Durchsicht.

LEBENS LAUF

Geburt:

6. September 1960
in Düsseldorf

Wurde am 6.9.1960 als 2. Tochter
des Diplom-Ingenieurs Dr. Werner
Meiswinkel und seiner Gattin
Lore Meiswinkel, geb. Bovenkerck,
in Düsseldorf geboren.

Schulausbildung:

1966-1970

Besuch der katholischen Grund-
schule St. Cäcilia in Düsseldorf-
Benrath

1970-1979

Besuch des städtischen Annette von
Droste-Hülshoff Gymnasiums in
Düsseldorf-Benrath

Studium:

1979-1980

2 Semester Veterinärmedizin an der
Tiermedizinischen Fakultät der
LMU München

1980-1985

10 Semester Humanmedizin an der
LMU München

November 1985

Approbation

